



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

TUOMAS KOTOVUORI
ESITYKSIEN JA YLEISÖTAPAHTUMIEN TILAPÄINEN
PIENJÄNNITEVERKKO

Diplomityö

Tarkastaja: Pekka Verho
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Tieto- ja sähkötekniikan
tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 3. maaliskuuta 2010

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Sähköenergiatekniikan laitos

KOTOVUORI, TUOMAS: Esityksien ja yleisötapahotumien tilapäinen

pienjänniteverkko

Diplomityö, 85 sivua, 12 liitesivua

Kesäkuu 2010

Pääaine: Teollisuuden sähkönkäyttötekniikka

Tarkastaja: Pekka Verho

Avainsanat: Tilapäinen pienjänniteverkko, esitykset, yleisötapahotumat,

esitystekniikka, sähkönlaatu, generaattori, saarekekäyttö

Tässä diplomityössä on tutkittu esityksiä varten rakennettavan väliaikaisen pienjänniteverkon rakennetta ja siihen kytkettyjen laitteiden aiheuttamien kuormitusten sähköisiä ominaisuuksia. Työn tavoitteena oli tuottaa tietoa väliaikaisen pienjänniteverkon oikeanlaisesta ja turvallisesta rakenteesta sekä esitellä esitystekniikan aiheuttaman kuormituksen luomia ilmiöitä ja häiriöitä mittaustulosten perusteella. Työ voidaan jakaa kirjalliseen ja soveltavaan osaan. Työ toteutettiin yhteistyössä Festivaalisähkö Oy:n ja Turku Energia Sähköverkot Oy:n kanssa.

Työn kirjallisessa osuudessa käsitellään erilaisia väliaikaisen pienjänniteverkon rakenteeseen ja sen parissa työskentelyyn liittyviä säädöksiä ja ohjeistuksia. Suoranaisesti työn aiheeseen liittyvää kirjallisuutta on olemassa vähän. Erityisesti esitystekniikkaa käsittelevä osa perustuu alan ammattilaisten haastatteluiden pohjalta saatuihin tietoihin sekä oman työhistorian kautta saatuihin kokemuksiin.

Työn soveltava osuus koostuu yleisötapahotumassa toteutetuista pienjänniteverkon ominaisuuksista ja sen häiriöitä tutkivista mittauksista. Mittauksiin käytettiin sähkönlaatu- ja häiriöanalysointilaitteita. Mittauksissa kerätty data siirrettiin tietokoneelle ja tuloksia tutkittiin tarkoitukseen kehitetyillä tietokoneohjelmilla. Lisäksi toteutettiin referenssimittaukset toisessa, tekniikaltaan varsinaista mittauskohdetta vastaavassa konsertissa.

Mittauksissa saadut tulokset mukailivat sähkönlaadusta annettuja suosituksia ja standardeja. Esitystekniikan aiheuttamat häiriöt tulee kuitenkin huomioda tehonsyötön suunnittelussa. Lisäksi verkon suunnittelussa on otettava huomioon nopeasti muuttuva sähkötehon tarve. Jos vastaavanlaiset mittaukset toteutettaisiin uudestaan, tulisi analysointilaitteiden asetuksiin kiinnittää tarkempaa huomiota kattavampien tulosten saamiseksi. Aiheeseen liittyviä jatkotutkimuskohteita olisivat esimerkiksi siirrettävillä generaattoreilla syötetyt sähköverkot sekä sähkönlaadun hallintaan tarkoitettujen laitteiden hyödyllisyys pysyvissä esitystekniikan kokoonpanoissa.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Department of Electrical Energy Engineering

KOTOVUORI, TUOMAS: Temporary Electrical Installations in the

Entertainment Industry

Master of Science Thesis, 85 pages, 12 Appendix pages

June 2010

Major: Power Engineering

Examiner: Pekka Verho

Keywords: Temporary low voltage electrical installation, entertainment industry, power quality, power generator

This Master's Thesis studies the structure of temporary electrical installations in entertainment industry and the electrical qualities of the load caused by the devices in the installations. The objective of this Master's Thesis was to produce information for the correct and safe structure of the installations and present the electrical phenomena and disturbances created by the devices. This Thesis can be divided into a literary part and an applied part of the study. The study was carried out in co-operation with Festivaalisähkö Oy and Turku Energia Sähköverkot Oy.

The literary part presents different standards and guidelines for temporary electrical installations and safe working methods. There are few literary precedents that focus directly on the subject of this study. Therefore especially the parts presenting entertainment technology are based on interviews with entertainment industry professionals and on personal work experience gained by the author.

The applied part of the study consists of meter readings which indicate the electrical qualities and disturbances in a temporary electrical installation. The readings were taken in an outdoor music festival with power quality analyzers. The data was transferred onto computers and examined with type-specific computer programs. Additionally, another concert with similar technical equipment was metered as a reference.

The results adhere to the general standards and recommendations for power quality. However, the disturbances caused by the entertainment technology should be taken into account when engineering the power feeding. Additionally, the rapidly changing need of electrical power during a show must be considered when designing the electrical network. If similar metering was executed again, the settings of the analyzers should be considered more meticulously in order to attain more comprehensive results. Subjects for additional study are e.g. power networks using conveyable power generator feed and the benefits of the devices designed to improve power quality used in fixed power networks.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Festivaalisähkö Oy:n ehdottamasta aiheesta yhteistyössä Turku Energia Sähköverkot Oy:n kanssa Tampereen Teknillisen Yliopiston diplomityönä vuonna 2009–2010. Työn valvojana on toiminut professori Pekka Verho Tampereen Teknillisen Yliopiston Sähköenergiatekniikan laitokselta ja ohjaajina Jouko Riihimaa Festivaalisähköstä sekä Kari Sanevuori Turku Energian Sähköverkoista.

Haluan kiittää edellä mainittuja tahoja ja henkilöitä sekä Ruissalon mittauksissa suurena apuna olleita Turku Energian Milla Kankaanpäättä ja Jukka Huhtalaa sekä Festivaalisähkön Matti Tiirinkiä työhön saamastani tuesta ja turvasta. Myös Ruisrock-festivaalia järjestävää Vantaan Festivaalit Oy:tä on syytä kiittää.

Suuri kiitos suvulleni ja perheelleni heidän antamastaan tuesta; ystäville, jotka tekevät elämästäni mainiota; sekä erityisesti rakkaalle avopuolisolleni Riikalle. Kumarruksen ansaitsevat myös kaikki kollegani ja työkaverini esiintymislavoilta, niiden alta, edestä ja takaa.

Tampereella 23.5.2010

Tuomas Kotovuori
Hämeenpuisto 14a4
33210, Tampere
Sähköposti: kotovuori@hotmail.com

SISÄLLYS

Tiivistelmä	II
Abstract	III
Alkusanat	IV
Termit ja niiden määritelmät	VII
1. Johdanto	1
2. Pienjänniteverkkoa koskevat säädökset	3
2.1. Sähköturvallisuus	3
2.2. Pienjännitesähköasennukset	4
2.2.1. Pienjännitteinen siirrettävä moottorigeneraattori	5
2.2.2. Standardin SFS 6000 esityksiä koskevat erityisvaatimukset	5
2.3. Sähkötyöturvallisuus	7
2.3.1. Sähkötapaturman ensiapuohjeet	10
2.4. Sähköenergian mittaus	11
2.5. Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet	11
2.5.1. Erillisverkkojen jännitteen ominaisuudet	13
2.5.2. Standardi SFS-EN 50160 jakelujännitteen laadusta	13
2.5.3. Sähköenergialiitto ry:n suositukset sähkön laadusta	15
2.5.4. Käyttäjän vastuu sähkön laadusta	16
3. Esitysten pienjänniteverkon suunnittelu ja mitoitus	18
3.1. Syöttö- ja jakelujärjestelmät	18
3.1.1. Syöttötapa 1	18
3.1.2. Syöttötapa 2	19
3.1.3. Syöttötapa 3	20
3.1.4. Syöttötapa 4	21
3.2. TN –järjestelmät	21
3.2.1. TN-S –järjestelmä	22
3.2.2. TN-C –järjestelmä	22
3.2.3. TN-C-S –järjestelmä	23
3.2.4. Generaattorilla syötetty järjestelmä	24
3.3. Käytettävä kaapelointi	24
3.3.1. Kaapeleiden mekaaniset rasitukset	25
3.3.2. Nollajohtimen pinta-ala ja kuormitus	25
3.3.3. Kaapeleissa käytettävät pistokytkimet	26
3.3.4. Yksivaiheiset johtimet	26
3.4. Käytettävät keskukset	27
3.4.1. Työmaakeskusten määritelmät	27
3.4.2. Keskuksien ominaisuudet	29
3.5. Turvallisuuteen liittyvät suojausmenetelmät	30
3.5.1. Perussuojaus	30
3.5.2. Vikasuojaus	31

3.5.3.	Generaattorin turvallisuutta koskeva suojaus	32
3.6.	Esityksissä käytössä oleva esitystekniikka.....	32
3.6.1.	Valotekniikka.....	33
3.6.2.	Äänitekniikka.....	35
3.6.3.	Kuvatekniikka.....	35
3.7.	Esitysten pienjänniteverkon ilmiöt ja häiriöt sekä niiden huomointi suunnittelussa	36
3.7.1.	Johdinjärjestelmän vaikutus sähkön laatuun.....	37
3.7.2.	Jännitteen aleneman huomioiminen.....	38
3.7.3.	Harmoniset yliaallot.....	39
3.7.4.	Loisteho	41
3.7.5.	Vinokuormitus	41
3.7.6.	Transienttiylijännite	42
3.7.7.	Sähkön laadun hallintaan soveltuvia laitteita.....	42
3.8.	Sähköistysuunnitelman sisältö.....	43
4.	Mittausten suorittaminen.....	45
4.1.	Mittausympäristö	45
4.1.1.	Kansanpuistontien puistomuuntamo –mittauspiste	46
4.1.2.	Niittylavan valopääkeskus -mittauspiste	47
4.1.3.	Niittylavan äänipääkeskus –mittauspiste	47
4.1.4.	Telttalavan pääkeskus –mittauspiste.....	48
4.2.	Mittaamiseen käytetyt analysaattorit.....	48
4.2.1.	Analysaattori Dranetz Power Platform 4300	48
4.2.2.	Analysaattori Fluke 435.....	49
4.2.3.	Analysaattori WIMO 6CP10	49
4.3.	Mittaaminen ja toimintatavat	49
4.4.	Referenssimittaukset	50
5.	Mittau tulokset.....	51
5.1.	Kansanpuistontien puistomuuntamon tulokset	51
5.2.	Niittylavan tulokset	52
5.2.1.	Niittylavan valopääkeskus (630A).....	52
5.2.2.	Niittylava äänipääkeskus (400A).....	59
5.3.	Telttalavan tulokset	65
5.4.	Tulosten koonti	69
5.5.	Kokemukset mittauksista	72
5.6.	Jatkotutkimuskohteita	72
6.	Yhteenveto	74
	Lähteet.....	76
	Liite 1: Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös 1193/1999	79
	Liite 2: Kotelointiluokat.....	82
	Liite 3: Mittaussyönnitelma	83
	Liite 4: Mittaukset 2009	87

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

AEL	Ammatinedistämislaitossäätiö
Backline	Esiintymislavalla olevat soittimet ja soitintekniikka
Esitystekniikka	Valo-, ääni- ja kuvatekniikka
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	Kansainvälinen tekniikan alan järjestö
IP - luokitusjärjestelmä	Euroopassa käytössä oleva järjestelmä sähkölaitteiden tiiviyyden määrittämiseksi
KTM	Kauppa- ja teollisuusministeriö
Led (Light Emitting Diode)	Puolijohdekomponentti, joka säteilee valoa, kun sen läpi johdetaan sähkövirta
PA (Public Address)	Kaiutinjärjestelmä
PF (Power Factor)	Tehokerroin
Plt	Välkynnän pitkäaikainen häiritsevyysindeksi
P_{ST}	Välkynnän lyhytaikainen häiritsevyysindeksi
RMS -arvo (Root Mean Square)	Tehollisarvo
Sener	Sähköenergiailiitto Ry
THD (Total Harmonic Distortion)	Särökomponenttien tehon suhde koko signaalin tehoon
TN -järjestelmä	Maadoitusjärjestelmä
Tukes	Turvatekniikan keskus
UPS (Uninterruptible Power Supply)	Järjestelmä tai laite, jonka tehtävä on taata tasainen virransyöttö lyhyissä katkoksissa ja syöttöjännitteen epätasaisuuksissa

1. JOHDANTO

Suomessa järjestetään vuosittain kymmeniä suuria yleisötapauhtumia. Ottaen huomioon niiden määrän, on yllättävää, että niiden sähkötekniistä toteutusta ja vaikutusta pienjänniteverkkoon on tutkittu hyvin vähän. Erilaisille tutkimustuloksille ja niiden käytännön sovellutuksille olisi käyttöä niin tapahtumajärjestäjillä kuin yksittäisillä toimijoilla.

Tämän diplomityön tutkimuskohteena ja aiheena ovat olleet esityksien ja yleisötapauhtumien väliaikainen pienjänniteverkko sekä lähinnä esitystekniikasta muodostuvan kuorman aiheuttamat häiriöt ja niiden vaikutus sähkön laatuun. Näille pienjänniteverkoille on tyypillistä niiden väliaikainen luonne: yleensä yleisötilaisuudet ovat lyhytkestoisia. Suuret yleisötapauhtumat järjestetään yleensä ulkona, alueilla joissa on tarpeeksi tilaa ja jotka soveltuvat muiltakin osin suurten yleisötilaisuuksien palvelemiseen. Tilaisuuksien lyhyen keston ja tapahtumien vaihtuvuuden vuoksi alueilla on harvoin valmiina tilaisuuden tarvitsemaa infrastruktuuria. Kustannustehokkaan pienjänniteverkonkin on oltava nopeasti rakennettavissa, purettavissa ja liikuteltavissa. Näihin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa verkossa käytettävien komponenttien oikealla valinnalla.



Kuva 1. Esiintymislava

Esityksien ja yleisötapahhtumien pienjänniteverkolle ominaisen kuorman muodostavat tilaisuuksissa käytettävä esitystekniikka, jota on näkyvillä kuvassa 1; yleisölle erilaisia palveluita, kuten ruokaa ja juomaa tarjoavien yritysten sähköntarpeet; yleiseen valaisemiseen ja mahdolliseen lämmittämiseen kuluva sähköenergia sekä lukuisiin muihin kohteisiin kuluva energia. Yleisötapahhtuman tilapäisen pienjänniteverkon rakennetta voikin verrata suureen, useammasta näyttämöstä koostuvaan teatterirakennukseen ravintoloihin, näyttämöihin ja muihin tiloihin. Tällaisista osatekijöistä koostuva verkko on kuormaltaan nopeasti ja epätasaisesti vaihteleva. Nämä ominaisuudet ja verkossa olevat häiriölähteet asettavat omat haasteensa pienjänniteverkon rakenteelle.

Tämän työn tarkoituksena on käydä läpi tilapäisverkon oikeaoppiseen ja turvalliseen rakentamiseen liittyvät pääkohdat sekä selvittää väliaikaisessa pienjänniteverkossa tapahtuvia sähköisiä muutoksia ja ilmiöitä sähkönlaatuanalysointireitillä tehtyjen mittausten avulla. Mittausten pohjalta saatiin tuloksia, joiden avulla voidaan jatkossa kiinnittää huomiota verkossa olevien komponenttien oikeaoppiseen valintaan sekä asioihin, jotka ovat ominaisia vain väliaikaistapahtumien sähköverkoille.

2. PIENJÄNNITEVERKKOA KOSKEVAT SÄÄDÖKSET

”Standardi on toistuvaan käyttöön tarkoitettu määrättyllä tavalla valmisteltu ratkaisu, jolla pyritään varmistamaan laitteen tai toiminnan turvallisuus ja yhteensopivuus. Lainsäädäntö yksinkertaistuu, kun säädöksiin kirjataan vain olennaiset vaatimukset ja yksityiskohdissa voidaan viitata standardiin. Paljon teknistä tietoa ja toimiviksi koettuja ratkaisuja onkin koottu standardeihin.” [1] Esityksissä käytettäviin tilapäisiin pienjänniteverkkoihin voidaan soveltaa standardisarjoista SFS 6000, SFS 6001, SFS 6002 löytyviä standardeja sekä soveltuvilta osin voidaan käyttää myös esityksissä käytettävien pienjänniteverkkojen suunnitteluun, rakentamiseen ja tarkastamiseen liittyviä tietolähteitä

Sähköturvallisuuslakiin on kirjattu sähköturvallisuuden perusvaatimukset. Lakiin liittyvät määräykset tulevat Kauppa- ja teollisuusministeriöltä. Suomen sähköturvallisuusviranomainen on Turvatekniikan keskus (Tukes), joka antaa lakiin soveltavia teknisiä ja hallinnollisia ohjeita. Yksityiskohtaiset ohjeet on esitetty standardeissa. Sähköturvallisuussäädökset ovat lakien, asetusten ja ministeriön määräysten pohjalta laadittuja käytännön ohjeita.

2.1. Sähköturvallisuus

Sähköturvallisuus ja siitä annetut määräykset ja asetukset pohjautuvat keskeisesti sähköturvallisuuslakiin (410/1996), sähköturvallisuusasetukseen (498/1996), Kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) tekemiin ”Päätös sähkölaitteistojen turvallisuudesta” (1193/1999), ”Päätös sähköalan töistä” (516/1996) ja ”Päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä” (517/1996). Näiden sanelemien suuntaviivojen pohjalta on määritelty seuraavissa kappaleissa läpikäytävät standardit ja säädökset. [2]

Sähköturvallisuuslain tarkoituksena on pitää sähkölaitteen ja -laitteistojen käyttö turvallisena. Laitteilla ja laitteistoilla tarkoitetaan sähköön tuottamiseen, siirtämiseen, jakeluun ja kulutukseen käytettäviä järjestelmiä. Mietittäessä sähköturvallisuuslakia esityksissä käytettyjen pienjänniteverkkojen ominaisuuksien ja kunnon kannalta, on hyvä nostaa esiin erityisesti seuraavat kaksi pykälää:

Sähköturvallisuuslaki 5§

”Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin, sekä niitä on huollettava ja käytettävä niin, että:

- 1) niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;
- 2) niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä; sekä
- 3) niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti.” [3]

Lisäksi sähköalan töitä koskeva 8§:

”Sähkölaitteiden korjaus- ja huoltotöitä sekä sähkölaitteistojen rakennus-, korjaus-, huolto- ja käyttötöitä saa tehdä seuraavilla edellytyksillä:

- 1) töitä johtamaan nimetään luonnollinen henkilö, jolla on riittävä kelpoisuus (*töiden johtaja*)
- 2) itsenäisesti töitä suorittavalla ja valvovalla luonnollisella henkilöllä on riittävä kelpoisuus tai muuten riittävä ammattitaito; sekä
- 3) käytössä on töiden tekemisen kannalta tarpeelliset tilat ja työvälineet sekä sähköturvallisuutta koskevat säännökset ja määräykset.” [3]

Sähkötöiden tekemiseen liittyviä turvallisuusmääräyksiä käydään läpi omassa kappaleessaan 2.2.2. Olennaisia turvallisuusvaatimuksia, jotka kaikkien sähkötöitä tekevien tulisi pitää mielessä, löytyy KTM:n päätöksestä 1193/1999, joka löytyy tämän työn liitteestä 1.

2.2. Pienjännitesähköasennukset

Standardisarja SFS 6000 koskee sähköasennuksia, joiden nimellisjännite on vaihtojännitteellä enintään 1000V. Tässä diplomityössä pienjänniteverkon rakennetta ja sen osia koskevaa suunnittelua, rakentamista ja tarkastamista käsitellään pohjaten SFS 6000 standardisarjassa oleviin yleisiin sääntöihin sekä standardisarjasta löytyviin yksityiskohtaisempiin vaatimuksiin, joita voidaan soveltaa esityksissä käytettävään pienjänniteverkkoon.

Näyttelyissä, esityksissä ja niitä vastaavissa tilaisuuksissa käytettäviä tilapäisiä sähköasennuksia koskevat standardien SFS 6000-1...6 vaatimukset. Lisäksi asennuksia koskevat standardin SFS 6000 kohdissa 7-704 ”Rakennustyömaat”, 7-711 ”Näyttelyt, esitykset ja näyttelyosastot” sekä 740 ”Huvipuistojen, tivolien ja sirkusten huvilaitteiden, myyntikojujen ja vastaavien tilapäiset sähköasennukset” mainitut erityisvaatimukset. [4]

Yleisellä tasolla yhtenä pienjännitestandardin SFS 6000 tärkeimpänä asiana esityksissä käytettävien pienjänniteverkkojen kannalta voidaan pitää suojausta sähköiskulta. Tämä tulee toteuttaa yhdistettynä kosketus- ja kosketusjännitesuojauksena

tai erikseen kosketussuojauksena ja kosketusjännitesuojauksena. Koska esityksien pienjänniteverkossa ei siinä käytettävien laitteiden ja suuren tehonkulutuksen takia ole mahdollista käyttää pienoishännitteitä, on suojaus toteutettava koteloimalla ja kosketussuojaamalla järjestelmän osat. Suojauskeinoina voidaan käyttää myös herkkää vikavirtasuojaa. [5] Verkon rakenteen sähköiskulta suojauksen periaatteita käydään tarkemmin läpi tämän työn kappaleessa 3.5.

2.2.1. Pienjännitteinen siirrettävä moottorigeneraattori

Tässä työssä käytetään selkeyden vuoksi jatkossa termiä generaattori kattamaan kaikki työssä käsiteltävät siirrettävät pienjännitteiset moottorigeneraattorilaitteistot. Standardien mukaan generaattorit, kuten muutkin sähköverkon komponentit on varustettava suojalaitteilla, jotka takaavat henkilöturvallisuuden ja estävät generaattoria aiheuttamasta vaurioita muille laitteille tai järjestelmän osille. Näihin järjestelmän osiin on laskettava myös itse generaattori. [6]

Käytönvalvonnan vuoksi tulisi laitteisto olla varustettu jännite- sekä taajuusmittareilla. Myös vaihekohtaisista ampeerimittareista on käytännön työssä suurta apua. Generaattorit on varustettu myös arvokilvillä, joista voi tarkastaa laitteen tärkeimmät ominaisuudet: nimellisteho (kVA), nimellispäätöteho (kW), nimellishännite, nimellisyörimisnopeus, nimellistaajuus (Hz), generaattorin valmistaja sekä tyyppi.

Tässä työssä käsiteltävät generaattorit ovat perusominaisuuksiltaan 3-vaiheisia tahtigeneraattoreita, joiden voimanlähteenä toimii dieselmoottori. Generaattorit on varustettu automatiikalla, joka mahdollistaa niiden turvallisen rinnanajon toisten generaattoreiden tai kiinteän verkon kanssa. Generaattoreissa on mahdollisuus valita ja säätää automatiikan kautta niiden ali- ja ylijännitesuojauksen arvoa ja laukaisuviivettä, sekä ylivirran tai vikavirran laukaisuarvoa ja viivettä. Generaattorit on magnetoitu niin, että ne pystyvät syöttämään vikatilanteessa jatkuvaa oikosulkuvirtaa laitteistoon. Näiden ominaisuuksien ansiosta oikosulkusuojien valinta on helpompaa ja verkon selektiivisyys helpompi saavuttaa.

Pidempiäaikaista oikosulkuvirtaa syöttävissä generaattoreissa on mahdollista käyttää myös säädettävällä laukaisuajalla toimivia suojalaitteita, korkeintaan viiteen sekuntiin saakka. Niissä verkon osissa, jotka edellyttävät lyhyempiä laukaisuajoja tai vikavirtasuojakytkimen käyttöä, sellaisia on myös käytettävä. Verkon ensimmäiset suojalaitteet sijaitsevat syöttöpuolelta katsottuna itse generaattorissa esimerkiksi generaattorin vikavirtasuojakytkimet. [6]

2.2.2. Standardin SFS 6000 esityksiä koskevat erityisvaatimukset

Tilapäisasennusten suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota niiden sijainnista johtuviin ulkoisiin olosuhteisiin. Veden, sateen ja muun kosteuden esiintyminen, mekaaniset ja ympäristön aiheuttamat rasitukset on arvioitava etukäteen ja otettava huomioon sähkön jakeluverkon laitteiden valinnoissa sekä niiden asennuksissa ja kunnossapidossa. Tehontarpeen määrittämiseen voidaan käyttää esimerkiksi jonkinlaista

taulukkoa, jossa verkkojännitteenä pidetään 230/400V ja tehokertoimelle on annettu jokin ennalta määritelty arvo, esimerkiksi 0,85. Huomioitavaa on että tällainen kerroin laskee johdolla syötettävän kuorman suurinta tehoa. Näyttelyissä, esityksissä ja vastaavissa tilapäisissä sähköasennuksissa ei saa ylittää 230/400V vaihtojännitettä tai 500V tasajännitettä. Ohjaus ja suojalaitteet on sijoitettava suljettuihin koteloihin, jotka saadaan avattua ainoastaan avainta tai työkalua käyttämällä. Sääntö ei koske maallikoiden käytettäviksi suunniteltuja ja tarkoitettuja laitteita, esimerkiksi vikavirtasuojan tai pikasulakkeen palautus sähkökeskuksissa. Kaapeleiden on oltava vähintään 1,5mm² kuparikaapeleita, jotka täyttävät standardisarjojen CENELEC HD 21 tai HD 22 tyyppikohtaiset vaatimukset. [7]

Kaapeleilla on tapahtuma-alueilla usein suuri vahingoittumisen vaara. Kaapeleiden päällä kävellään ja niiden yli saatetaan jopa ajaa tapahtuman järjestämiseen tarvittavilla ajoneuvoilla. Mekaaniselle vahingoittumiselle alttiissa paikoissa on käytettävä mekaanista räsitusta vastaan suojattuja kaapeleita. Taipuisia kaapeleita ei saa sijoittaa yleisölle avoimille alueille, ellei niitä ole suojattu mekaaniselta vahingoittumiselta. [8]

Mikäli tapahtumissa joudutaan käyttämään ilmajohtoa, on helpointa käyttää kumikaapelia, joka on asennettu niin, ettei siihen kohdistu ylimääräistä räsitusta. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi kiinnittämällä kumikaapeli nippusiteillä vaijeriin, joka on rakennettu ylittämään haluttu alue. Kaapelivalinnoissa tulee huomioida jännitteenaleneminen ja kuormitettavuus asennusolosuhteissa. Sähkön laadun tulee pysyä alueella käytettävien laitteiden määrittelemissä rajoissa. Tilapäisasennuksissa liitokset ovat aina riskialttiita ja sen vuoksi turhia liitoksia tulee välttää ja liitosten sijoittuminen ja mahdollinen suojaus tulee suunnitella huolella. Liitokset on tehtävä joko standardien mukaisilla liittimillä, tai sijoittamalla liitos vähintään IP 4X mukaiseen koteloon. Mikäli liitokseen voi kohdistua vetorasitusta, on käytettävä kunnollista vedonpoistinta. Määrätylle käyttäjälle tarkoitettu tilapäisrakenne, esimerkiksi esiintymislava, tai sen osakokonaisuus (esimerkiksi valaistus) on varustettava selvästi tunnistettavalla ja helposti käyttäjän ulottuvilla olevalla erotuslaitteella. Erotuslaitteena voidaan käyttää erottamiseen soveltuvia kytkimiä, katkaisijoita, vikavirtasuojia tai muita vastaavia erottimia. [8]

Johdotus tulisi suunnitella niin, että pistorasioita on riittävästi eikä suojaamattomia haaroituspistorasioita tarvitsi käyttää ollenkaan, tai vähintään, ettei niihin jäisi vapaita käyttämättömiä kohtia. Pistorasiat on suojattava vahingossa sisään tulevaa vettä tai muita nesteitä vastaan. Tähän on kiinnitettävä huomiota erityisesti väliaikaisia anniskelupaikkoja ja keittiöitä sähköistettäessä.

Tapahtumien väliaikaiset sähköasennukset on käyttöönottotarkastettava ennen niiden käyttöön ottoa. Väliaikaisissa sähköasennuksissa on huomioitava käytön erityispiirteet, sekä tarkkailtava asennuksen kuntoa ja erityisesti sen ohjeiden mukaista käyttöä. Erityistä huomiota on kiinnitettävä mekaanisten vaurioiden tarkkailuun, kaapeleiden ja liitosten kuntoon, ovien ja kansien lukitukseen, ilkivaltaan sekä kylttien ja ohjeiden paikallaan pysymiseen. [8]

2.3. Sähkötyöturvallisuus

”Tätä standardia sovelletaan kaikkeen sähkölaitteistojen käyttöön ja työskentelyyn sähkölaitteistoissa tai niiden läheisyydessä. Nämä sähkölaitteistot toimivat kaikilla jännitealueilla, pienoisjännitteistä suurjännitteisiin.” [9]

”Nämä sähkölaitteistot on suunniteltu sähköön tuottamiseen, siirtämiseen, muuttamiseen, jakeluun ja käyttöön. Sähkölaitteistot ovat joko pysyviä ja kiinteitä kuten rakennusten sähköasennukset, tai tilapäisiä kuten rakennustyömaiden sähköasennukset. Sähkölaitteistot voivat olla myös liikkuvia tai siirrettäviä joko jännitteisinä tai jännitteettöminä ja varauksettomina.” [9]

Standardi SFS-6002 asettaa vaatimukset turvalliselle sähkölaitteistojen käytölle, ja niiden läheisyydessä työskentelylle. Standardin asettamat vaatimukset koskevat kaikkea käyttöä, asennusta ja kunnossapitoa. Ne koskevat kaikkea sähkötyötä sekä muuta sähkölaitteiston läheisyydessä tapahtuvaa työtä. [9]

Tätä standardia sovelletaan luonnollisesti myös esityksissä käytettävien väliaikaisten pienjänniteverkkojen sähkötyöturvallisuuteen. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry sekä AEL järjestävät paljon sähkötyöhön ja sen turvallisuuteen liittyvää koulutusta ja kurssitusta. Tukes pitää yllä rekisterejä urakoitsijoista, tarkastajista, laitteistoista sekä muista sähkötyöhön liittyvistä resursseista. Tukes on Suomessa se viranomainen, joka järjestää erilaiset sähkötöitä koskevat tutkinnot sekä pätevyyskokeet. [10]

Kaikkien sähköalan töitä tekevien tulee olla työtehtävään ja sen sähköturvallisuutta koskeviin vaatimuksiin riittävästi perehtynyt tai opastettu. Sähköalalla töitä tekevät henkilöt voivat olla maallikoita, opastettuja henkilöitä tai ammattihenkilöitä. Sähköalan työt voidaan jakaa vähäistä vaaraa aiheuttaviin, maallikoille ja opastetuille henkilöille sallittuihin töihin sekä varaa aiheuttaviin sähköalan ammattihenkilöiden töihin. Maallikko on henkilö, joka ei ole ammattitaitoinen sähköalalla, hänellä ei ole sähköalan koulutusta eikä työkokemusta, eikä häntä ole sähköalalle opastettu. Opastettu henkilö on sellainen, joka on kouluttautunut sähköalalle, jolla on vaihteleva määrä sähköalan koulutusta ja työkokemusta, tai henkilö, jolla ei ole sähköalan koulutusta tai työkokemusta, mutta joka on opastettu tekemään määrätty toimenpide. Ammattihenkilö on henkilö, jolla on kyseiseen työhön soveltuva koulutus ja työkokemus, jonka perusteella hän kykenee arvioimaan turvallisuusriskit, työskentelemään itsenäisesti sekä välttämään sähköön aiheuttamat vaarat. [11] Tällaiseksi henkilöksi luokitellaan Kauppa- ja teollisuusministeriön asetuksessa sähköalan töistä (516/1996) 11§ mukaan:

”Riittävän ammattitaitoiseksi tekemään itsenäisesti oman alansa sähkö- ja käyttötöitä ja valvomaan niitä, katsotaan henkilö, joka on kyseisiin töihin opastettu ja jolla on

- 1) sähköalan diplomi-insinöörin, insinöörin tai teknikon tutkinto,
- 2) sähköalan ammattitutkinto tai yliasentajan erikoisammattitutkinto taikka vastaavat tutkinnot,
- 3) hyväksytysti suoritettu sähköalan oppisopimuskoulutus,

4) ammattikoulun tai vastaavan koulun kaksivuotinen sähköalan koulutus ja sen jälkeen kaksi vuotta työkokemusta kyseisissä sähköalan töissä taikka kolmivuotinen sähköalan koulutus ja sen jälkeen vuosi vastaavaa työkokemusta,

5) suoritettuna aikuiskoulutuskeskuksen sähköalan vähintään 50 viikon kurssi ja sen jälkeen kolme vuotta työkokemusta kyseisissä sähköalan töissä taikka

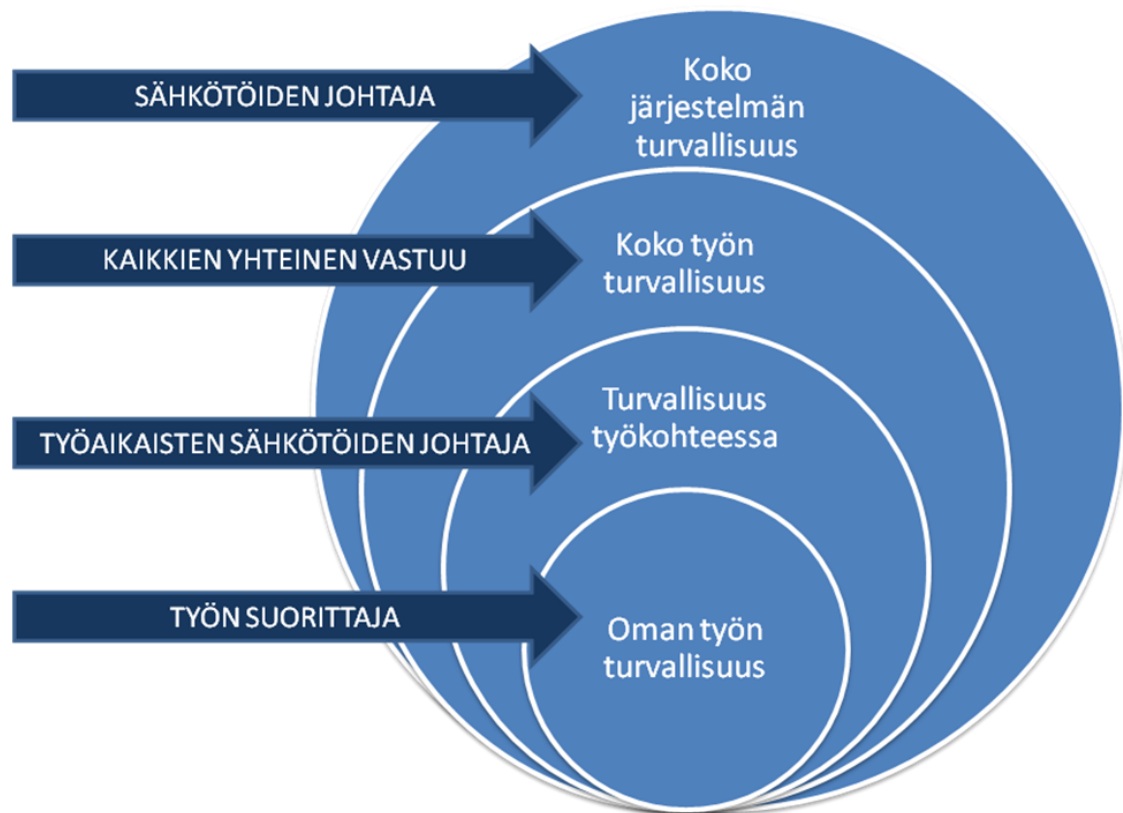
6) kuuden vuoden kokemus kyseisistä sähköalan töistä ja riittävät alan perustiedot.

Sähkövoima-alan tehtävissä muun sähköalan kuin sähkövoimatekniikan koulutuksen suorittaneilta edellytetään lisäksi vuosi sähkövoima-alaan perehdyttävää työkokemusta tutkinnon tai koulutuksen jälkeen.

Jos kyse on yksittäiseen sähkölaite- tai sähkölaitteistoryhmään kohdistuvista sähköalan töistä, riittävän ammattitaitoiseksi tekemään itsenäisesti kyseisiä töitä katsotaan 1 momentista poiketen henkilö, jolla on kahden vuoden työkokemus.” [12]

Sähköturvallisuuslain mukaan sähköalan töitä johtamaan on nimettävä henkilö, jolla on riittävä kelpoisuus. Tämä henkilö on sähkötöiden tai käytön johtaja. Lisäksi sähköturvallisuuden varmistaminen alan töissä edellyttää, että jokaiseen työkohteeseen nimetään sähköalan ammattihenkilö, joka valvoo työnaikaista sähköturvallisuutta. [12]

Esityksien väliaikaista pienjänniteverkkoa, sen rakennetta ja käyttöä sekä sähkötyöturvallisuutta mietittäessä voidaan keskittyä työstä vastaavana henkilönä sähkötöiden johtajaan. On myös muistettava, että kaikki sähkötyöt ovat luvanvaraisia töitä, jotka vaativat urakointiluvan ja vastaavan sähkötöiden johtajan.



Kuvassa 2 on esitetty sähkötyön ja -turvallisuuden johtajien, valvojien ja työtä tekevien henkilöiden kesken jaetut vastuut. Tärkeää on kuitenkin muistaa, että sähköturvallisuus on kaikkien sähkötöihin osallistuvien työntekijöiden yhteinen asia. Sähkötöitä tehdessä

oikeat ja sähköturvalliset välineet sekä varusteet ovat edellytys turvalliselle työnteolle. Työvälineet voidaan jakaa henkilökohtaisiin työkaluihin ja jännitetyökaluihin, joiden ominaisuudet määritetään tarkasti standardissa SFS-EN 60900. [13] Työkalujen lisäksi turvalliseen työhön kuuluvat asianmukaiset suojavaatteet ja muut henkilönsuojaimet. Jokaisella sähköitä tekevällä henkilökohtaisiin varusteisiin tulisi kuulua myös sähkötöistä varoittava kilpi ja lukko, joilla työkohteeseen saadaan pysymään turvallisena koko työskentelyn ajan. Tehtiinpä sitten jännitteettömiä tai jännitteellisiä töitä, on työkohteeseen syytä tarkastaa jännitteenkoettimella ennen työhön ryhtymistä. Jos kohteessa joudutaan tekemään standardin mukaisia jännitetöitä, on sitä varten oltava jännitetyöohje. Päätöksen jännitetyön tekemisestä tekee työstä vastaava henkilö. Myös henkilön pätevyys jännitetöihin on arvioitava. Jännitetyöohjeen pohja voidaan tehdä yrityskohtaisesti. Työkohteen mukaiset tarkat ja yksityiskohtaiset tiedot tulee tarkastaa standardista. Työohjeet kannattaa laatia yhteistyössä työstä vastaavan henkilön ja työtä suorittavien henkilöiden kesken. Käytettävä jännitetyöohje on oltava sähkötöiden johtajan ja tarvittaessa käytönjohtajan hyväksymä ennen käyttöönottoa.[14] Seuraavassa listauksessa on käyty läpi jännitetyöt lyhyesti:

- Jännitetöiden tekemisen edellytys on sähkötöiden johtajan tai käytönjohtajan lupa.
- Jännitetöiden tekijällä täytyy olla suoritettuna voimassaoleva jännitetyökurssi
- Ennen työn aloittamista kerrotaan työhön osallistuville henkilöille tehtävät, työkalut ja turvallisuustoimenpiteet
- Työn aloittamisesta ja työkohteesta ilmoitetaan käytöstä vastaavalle henkilölle
- Käytetään jännitetyöhön sopivaa vaatetusta ja suojalaitteita sekä tarvittaessa eristävää alustaa
- Käytetään jännitetyökaluja ja tarkistetaan niiden kunto
- Tarkistetaan mistä jännitteiset osat voidaan vahingon sattuessa nopeasti saada jännitteettömiksi
- Käytetään tarvittaessa lisäsuojauksia työkohteen ympärillä [14]

Verkossa tapahtuvassa työssä on käytettävä jännitetyökoulutuksen saanutta työryhmää, elleivät seuraavat yksin tehtävän työn edellytykset täyty:

- Henkilö on perehtynyt vastaaviin töihin jännitteettömässä ympäristössä,
- Henkilöllä on mahdollisuus saada toisen sähköalan ammattihenkilön neuvoja tai apua, työohjeella on riittävästi varmistettu turvallinen työskentely,
- Työskentelyalue on järjestelmässä helposti päästävissä paikassa,
- Työskentelyaluetta suojaavan sulakkeen nimellisvirta on enintään 25A tai työ tehdään erityisen työohjeen mukaan enintään 63A ylivirtasuojalla suojatussa ryhmäkeskuksessa,

- Työkohteen esimerkiksi jakokeskuksen työn kohteena olevat osat on suojattu vähintään IP2X tai IPXXB mukaisella kosketussuojauksella ja suojaava ylivirtasuojus on enintään 125A,
- Työ tehdään erityisesti jännitetyöhön tarkoitetuilla komponenteilla esimerkiksi jonovarokeykytkimen lisäys sellaisessa kaapelijakokaapissa, jossa lisäys on suunniteltu tehtäväksi jännitteisenä [14]

2.3.1. Sähkötapaturman ensiapuohjeet

Sähkötapaturmien ja tapaturmien varalta on syytä käydä ensiapukursseilla ja pitää yllä opittuja taitoja. Suoritettu ensiapukurssi on voimassa kaksi vuotta, jonka jälkeen on käytävä täydennyskurssilla. Tiivistetysti voitaneen tässäkin mainita seuraavanlaiset ensiapuohjeet:

1. Tee nopea tilannearvio
2. Katkaise virta ja irrota loukkaantunut vaarantamatta itseäsi
 - Katkaise virta kytkimellä, irrottamalla pistotulppa tai vastaavalla tavalla.
 - Ellei virtaa saada nopeasti katkaistua, irrota loukkaantunut eristävällä välineellä esimerkiksi laudalla, narulla, tai vaatekappaleella.
 - Älä koskaan käytä irrottamiseen johtavaa esinettä, esimerkiksi kosteaa, tai metallista esinettä.
 - Suurjännitetapaturmissa et voi aloittaa varsinaisia pelastustoimia ennen kuin sähköalan ammattihenkilö on katkaissut virran.
3. Tarkista autettavan tila
 - Puhuttele häntä ja ravistele olkapäistä. Jos hän ei vastaa eikä liiku, hän on todennäköisesti menettänyt tajuntansa.
4. Hälytä apua
 - Jos potilas ei herää, soita ensin hätänumeroon 112.
 - Säilytä malttisi ja puhu selvästi:
 - Kerro sähkötapaturmasta.
 - Kerro, jos ihmisiä on vaarassa.
 - Anna tarkka osoite ja tarvittaessa ajo-ohjeita.
 - Vastaa kysymyksiin ja toimi ohjeiden mukaan.
 - Lopeta puhelu vasta kun saat luvan.
 - Palaa välittömästi jatkamaan ensiapua.
5. Anna ensiapua.
 - Tarkista uhrin hengitys.
 - Jos et havaitse elintoimintoja, aloita elvytys.
 - Jatka elvytystä kunnes saat ammattiapua. [15]

2.4. Sähköenergian mittaus

Käyttötyöllä tarkoitetaan sähkölaitteiston käyttö-, korjaus- ja huoltotöitä. Mittaus luetaan käyttötyöksi. Käyttötöitä saa tehdä jännitteisessä sähkölaitteistossa, jos työ tehdään riittävää huolellisuutta noudattaen siten, ettei sähköiskun vaaraa aiheudu. Jos mitattavassa laitteistossa joudutaan suorittamaan varsinaisia sähkötöitä, tulee kohde mahdollisuuksien mukaan kytkeä jännitteettömäksi. Mittaustyön vaatiessa jännitetyötä on noudatettava kyseistä työtä varten laadittua sähkötöiden johtajan hyväksymää jännitetyöohjetta. Edellisen kappaleen jännitetyöohjeessa esitettyjen asioiden lisäksi on mittauksissa tehtävissä jännitteellisissä töissä hyvä muistaa seuraavat asiat: [16]

- Tarkistetaan mittalaitteet ennen ja jälkeen mittauksen.
- Virtamittaukset suoritetaan pääsääntöisesti eristetyistä kaapeleista tai kiskoista.
- Jännitemittaus suoritetaan ensisijaisesti riviliittimiltä ja pienimpien mahdollisten sulakkeiden takaa.
- Ensin kytketään mittalaitteen suojajohdin ja sitten muut johtimet. Irrotus tapahtuu päinvastaisessa järjestyksessä, eli suojajohdin irrotetaan viimeisenä. Johtimen päät eristetään ennen ja jälkeen kytkennän.
- Tarkistetaan, että mittauspaikka jää asialliseen ja turvalliseen tilaan.
- Mikäli mittari jää mittauksien ajaksi tiloihin, joissa ulkopuolinen henkilö voi päästä käsiksi mittalaitteeseen, varmistetaan turvallisuus ja asetetaan varoituskilvet.

Standardissa SFS 6002 mittaukseksi on määritelty kaikki toimenpiteet, joilla mitataan sähkölaitteistoihin liittyviä fysikaalisia suureita. Mittauksia tekevän henkilön tulisi olla ammattihenkilö tai opastettu henkilö, joka on ammattihenkilön välittömässä valvonnassa. Sähkölaitteistojen mittauksissa tulee käyttää sopivia ja turvallisia mittalaitteita.

Mittalaitteiden ominaisuuksia ja turvallisuusvaatimuksia käsitellään standardissa SFS-EN 61010-1: ”Mittaukseen, säätöön ja laboratoriokäyttöön tarkoitettujen laitteiden turvallisuusvaatimukset” Suositeltavaa on käyttää vähintään ylijänniteluokan CAT III 600V vaatimukset täyttäviä laitteita.

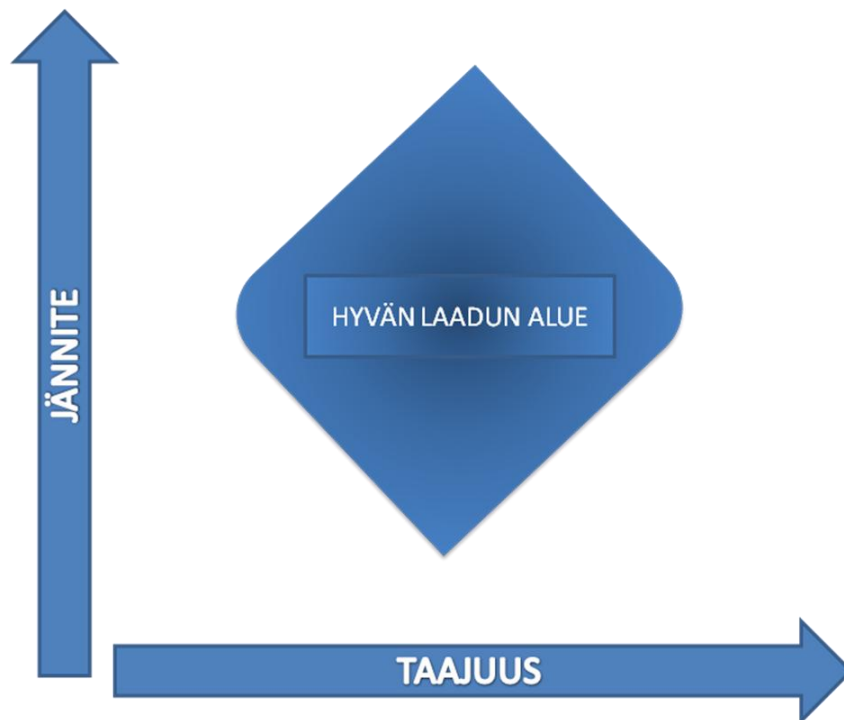
Vaikka mittaukseen tarvittavien komponenttien asentamista ei pidetäkään jännitetyönä, on jännitteiseen osaan kohdistuvan toimenpiteen noudatettava aikaisemmin lueteltuja jännitetyöhön liittyviä periaatteita. Yksityiskohtaiset ohjeet kannattaa tarkastaa standardista. [16]

2.5. Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet

Sähkönjakelun piirissä olevan asiakkaan näkökulmasta sähkö on tuote. Sähkön laatu voidaan jakaa moneen erilaiseen ominaisuuteen, joiden mukaan sitä voidaan arvioida.

Suomessa käytettävässä standardissa mittarina käytetään jännitteen laatua. Sähkönlaadun mittaustekniikat määritellään globaalisessa standardissa IEC 61000-4-30, Harmoniset yliaallot, IEC 61000-4-15 ja Välkyntä IEC 61000-4-15. Suomessa kuitenkin jakelujännitteen ominaisuuksia käsitellään tällä hetkellä suomalaisen standardin SFS EN-50160 avulla. Se käsittelee jakelujännitteen ominaisuuksia sähkönkäyttäjän liittämiskohdassa. [17]

Standardi SFS EN-50160 jakautuu kahteen pääosaan, jotka ovat jännitteen laatu ja sähkön toimitusvarmuus. Standardissa ei siis oteta kantaa virran laatuun, joka monessa tapauksessa kuitenkin näyttelee merkittävää osaa. Virran ominaisuudet ja siinä tapahtuvat muutokset onkin syytä huomioida, vaikka sitä ei vielä kansallisessa standardissa vaaditakaan. Tässä työssä mittaustuloksia standardin osalta käydään läpi pääasiassa jakelujännitteen ominaisuuksien kannalta. Keskeytykset ja niiden aiheuttamat haitat esityksien väliaikaisissa pienjänniteverkoissa on rajattu tämän työn ulkopuolelle.



Kuva 3. Hyvän jakelujännitteen ominaisuudet [18]

Jakelujännitteen laatua ajateltaessa sen ominaisuudet voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan. Näin on tehty kuvassa 3, jossa jännitteen laatu on jaettu jännitteen arvoon ja taajuuteen. Hyvän laadun alue rajautuu näiden kahden muuttujan sisäpuolelle.

Standardissa ei suoranaisesti käsitellä väliaikaisten pienjänniteverkkojen sähkönlaatua. Generaattorin syöttämässä verkossa voidaan käyttää erillisverkkojen jännitteen ominaisuuksia.. Tärkeintä kuitenkin on, että sähkön laatu pysyy alueella käytettävien laitteiden määrittelemissä rajoissa niin, että esitys saadaan toteutettua ilman huonosta sähkönlaadusta johtuvia keskeytyksiä tai järjestelmän osien rikkoutumista.

2.5.1. Erillisverkkojen jännitteen ominaisuudet

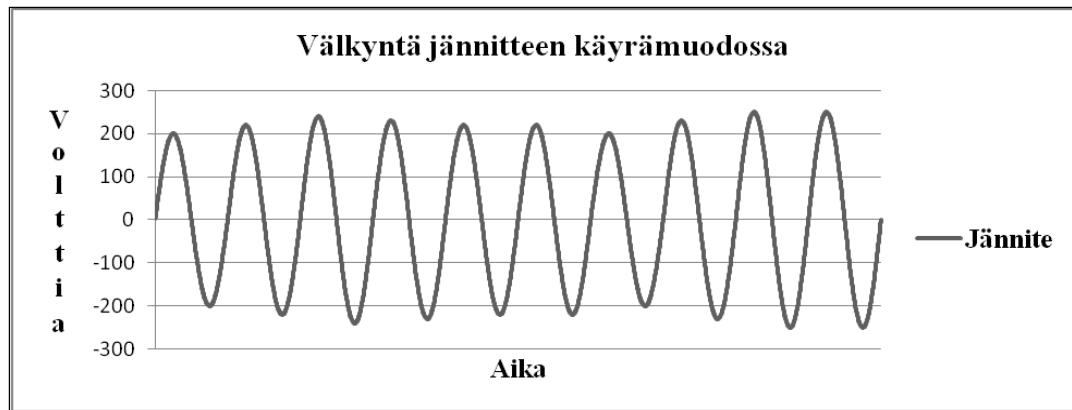
Erikoisluonteen ja verkossa tapahtuvien nopeiden muutosten ja tapahtumien lyhyen keston vuoksi kymmenen minuutin keskiarvot viikon ajalta eivät ole järkevä tapa mitata jännitteen ominaisuuksia tässä työssä. Verkossa olevien kuormien nopeiden muutosten taltioimiseksi mittaukset on suoritettu käyttäen mittaustulosten aikakeskiarvona viittä sekuntia tai yhtä sekuntia. Siksi työn tulosten vertaaminen suoraan standardin arvoihin ei välttämättä anna oikeaa kuvaa jännitteen ja virran muutoksista. Standardissa annettuja arvoja tutkittaessa onkin tärkeintä, ettei siinä annettuja minimi- ja maksimiarvoja ylitetä missään käyttötilanteessa.

2.5.2. Standardi SFS-EN 50160 jakelujännitteen laadusta

Standardi SFS-EN määrittelee jännitteen taajuuden pienjänniteverkon, saareke- tai varavoima käytössä niin, että viikon aikana 95 % ajasta taajuuden tulee pysyä rajoissa $50 \text{ Hz} \pm 2 \%$ (eli $49 - 51 \text{ Hz}$) ja 100 % ajasta $50 \text{ Hz} \pm 15 \%$ (eli $42,5 - 57,5 \text{ Hz}$). Yhteiskäyttöverkoissa rajat ovat tiukemmat ja 100 % ajasta on pysyttävä rajoissa $50 \text{ Hz} + 4 \%$ / $- 6 \%$ (eli $47 - 52 \text{ Hz}$). [17]

Vaihejännitteen tehollisarvon U_N 230 V kymmenen minuutin keskiarvon on pysyttävä 95 % viikon ajasta välillä $\pm 10 \%$ (eli 207 – 253). Kaikkien jakelujännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvojen tulee olla välillä (+10 % / -15 %) eli rajoissa 195,5...253V. [17]

Nopeat jännitemuutokset aiheutuvat yleensä nopeista kuormituksen muutoksista tai verkossa tapahtuvista kytkennöistä. Toistuvia, nopeita jännitemuutoksia kutsutaan välkynnäksi, joka on valolähteen luminanssin muutosten aiheuttamaa näköaistimuksen epävakaisuutta, ja se arvioidaan lyhytaikaisena P_{ST} -arvona, joka mitataan kymmenen minuutin aikavälein, sekä pitkäaikaisena häiritsevyysindeksinä P_{LT} , joka lasketaan kahdentoista tunnin mittausaikaväliltä saadusta P_{ST} -arvosta. Välkynnän häiritsevyysindeksin voimakkuus määritellään jännitteen vaihtelun mittaamiseen perustuvalla UIE IEC välkynnän mittausmenetelmällä. Koska pitkäaikaisen häiritsevyysindeksin määrittelyaika on 12 tuntia pitkä, se ei sellaisenaan sovellu käytettäväksi esityksien pienjänniteverkon tapauksessa. Tässä työssä välkyntää tarkastellaankin sen P_{ST} -arvolla. Korkean laadun tapauksessa välkyntäindeksin P_{ST} -arvon tulisi jäädä alle yhden. Kuvassa 4 on periaatteellinen esimerkki siitä, kuinka välkyntä näkyy jännitteen käyrämuodossa.[17]



Kuva 4, Välkyntä erottuminen jännitteen käyrämuodossa

Harmoninen yliaaltojännite on sinimuotoinen jännite, jonka taajuus on jakelujännitteen perusaallon taajuus kokonaisluvulla kerrottuna. Harmonisten yliaaltojännitteiden suuruuksia voidaan arvioida harmonisella kokonaissäröllä (THD). Jakelujännitteen kokonaissärökerroin huomioi 40 ensimmäistä yliaaltoa, joiden summan tulee olla alle 8 % nimellisjännitteestä U_N . Alla olevassa taulukossa 1 näkyy jännitteen yliaaltojen standardin määrittelemät maksimi THD -arvot järjestyslukuun 25 asti. [17]

Taulukko 1, Standardin SFS-EN 50160 mukaiset jännitteen yliaallot

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
Kolmella jaottomat		Kolmella jaolliset			
Järjestysluku	Suhteellinen jännite	Järjestysluku	Suhteellinen jännite	Järjestysluku	Suhteellinen jännite
5	6 %	3	5 %	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6 - 24	0,5 %
13	3 %	21	0,5 %		
17	2 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

Standardissa SFS-EN-50160 ei käsitellä virtasärön rajoja, mutta seuraavassa taulukossa on esitetty harmonisten yliaaltovirtojen standardin IEEE 519, taulukossa 4.4, määrittelemät rajat pienjännitteen virtasäröille. Periaatteena tässä standardissa on, että loppuasiakas vastaa laitteidensa mahdollisesti aiheuttamista harmonisista yliaalloista ja niiden tuottamista häiriöistä verkossa, kun taas sähkön jakelija tai tuottaja vastaa jännitteen laadusta. Vaikka suomalainen standardi ei otakaan kantaa virtasäröihin, on ne otettu esille tässä työssä, koska pääasiallisen kuorman muodostavassa esitystekniikassa on runsaasti tehoelektronikan komponentteja, joten kuormassa voidaan olettaa olevan virran harmonisia yliaaltoja. IEEE:n ohjeistamat virtasärön rajat ovat taulukossa 2.

Taulukko 2, IEEE 519 mukaiset virtasärön rajat [19]

Maksimivirran särö prosentteina kuormitusvirrasta I_L						
Yksittäisen parittoman harmonisen kertaluku						Harmoninen kokonaissärö
Oikosulkusuhte, I_{SCB}	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 < h$	THD
< 20 *	4 %	2 %	1.5 %	0.6 %	0.3 %	5 %
20 – 49.9	7 %	3.5 %	2.5 %	1 %	0.5 %	8 %
50 – 99.9	10 %	4.5 %	4.0 %	1.5 %	0.7 %	12 %
100 – 999	12 %	4.5 %	5.0 %	2.0 %	1.0 %	15 %
> 1000	15 %	7 %	6.0 %	2.5 %	1.4 %	20 %
Huomioi <ul style="list-style-type: none"> • parillisten harmonisten rajat ovat 25 % parittomista • *) Kaikki tehoa synnyttävät laitteet rajoitetaan virtasärön näihin arvoihin huolimatta todellisesta I_{SCB} arvosta. 						
Huomioi <ul style="list-style-type: none"> • parillisten harmonisten rajat ovat 25 % parittomista • *) Kaikki tehoa synnyttävät laitteet rajoitetaan virtasärön näihin arvoihin huolimatta todellisesta I_{SCB} arvosta. 						

Jännitteen epäsymmetria on tilanne, jossa vaihejännitteiden tehollisarvot ja/tai niiden väliset kulmat eivät ole samat. Eron suuruus ilmaistaan tavallisesti nolla- ja vastakomponentin suhteena myötäkomponenttiin. Esityksien pienjänniteverkkojen rakenne huomioiden voidaan raja-arvona käyttää standardin määritelmää, jossa osa asiakkaista on yksi- tai kaksivaiheisesti kytkettyjä. Jakelujännitteen vastakomponentin 10 minuutin keskiarvojen oletetaan olevan 3 %:n epäsymmetria-arvojen sisällä. [19]

Standardin SFS-EN-50160 määritelmän mukaan johtimen ja maan väliset tilapäiset käyttöjännitteet voivat nousta 1,5 kV, sekä johtimen ja maan väliset transienttiylijännitteet voivat nousta 6 kV pysyen vielä standardin määrittelemissä rajoissa. Tässä työssä jätetään huomiotta standardissa määritelty pienjänniteverkon signaalijännitteet liittämiskohdassa, koska työssä käsiteltäviä väliaikaisia pienjänniteverkkoja ei yleisesti käytetä viestisignaalien siirtoon.

2.5.3. Sähköenergialiitto ry:n suositukset sähkön laadusta

Standardin SFS-EN 50160 ohella Suomessa on käytössä myös Sähköenergialiitto ry:n (Sener) jakeluverkon sähkön laadun arviointia koskeva julkaisu 'Jakeluverkon sähkön laadun arviointi'. Tämä alun perin vuonna 1996 julkaistu suositus päivitettiin viimeksi vuonna 2001. Tässä suosituksessa esitetään määritellyt keskeisille laatutekijöille, sekä ajankohdan tieto-taito huomioonottaen realistisiksi katsotut ja käytännössä mahdolliset sähkön laadun mittaus- ja arviointikriteerit. Julkaisun alussa on myös koostetaulukko,

johon on koottu mittaustulosten arviointiin tarkoitetut laatukriteerit. Pienjänniteverkon osalta lukuarvot on esitetty taulukossa 3. [20]

Taulukko 3, Senerin koostetaulukko pienjänniteverkon jännitteen laatukriteereistä [20]

Jännitteen ominaisuus	Korkealaatu	Normaali-laatu	Standardin SFS-EN 50160 mukainen laatu	Huomautus
Taajuus	50 Hz \pm 0,5 %	50 Hz \pm 1 %	99,5 % vuodesta 50 Hz \pm 1 %, 100 % ajasta 50 Hz +4 % / -6 %	Mittaus 10s jaksoina
Jännitteen vaihtelu	100 % ajasta 225-235 V	100 % ajasta 207- 244 V	95 % $U_N \pm 10$ %, 100% ajasta $U_N +10\%$ / -15 %	Mittaus tehollisarvojen 10 min keskiarvoina viikon ajan
Nopeat jännitemuutokset	$P_{ST} \leq 1$ ja $P_{LT} \leq 0,8$	$P_{LT} \leq 1$	95 % P_{LT} – arvoista ≤ 1	
Harmoniset yliaallot	THD ≤ 3 %	THD ≤ 6 %	95 % ajasta THD ≤ 8 %	Mittaus 10 min jaksoina viikon ajan
Epäsymmetria	$U_{SH} \leq 1$ %	$U_{SH} \leq 1,5$ %	95 % $U_{SH} \leq 2$ %	Mittaus 10 min jaksoina viikon ajan

Tässä työssä Senerin taulukkoa käytetään koosteena jännitteen laatukriteereistä. Huono sähkönlaatu aiheuttaa yksittäisille sähkölaitteille, tai jopa kokonaisille järjestelmille toimintahäiriöitä, laiterikkoja ja muita ongelmia. Väliaikaisessa pienjänniteverkossa laatuun vaikuttavat monet muuttujat alkaen verkkoa syöttävän tehonlähteen jännitteen ominaisuuksista kattaen koko verkon ja siihen liitetyt laitteet. Erilaisten järjestelmien ja toimenpiteiden vaikutusta sähkön laatuun ja sen häiriöpitoisuuteen käydään läpi kappaleessa 3.6.

Standardin täyttäminen ei kuitenkaan suoraan tarkoita sitä, että kaikki olisi kunnossa. On muistettava, ettei standardin mukainen sähkö ole puhdasta. Esimerkiksi standardin jännitteelle antamien raja-arvojen sisällä on pysyttävä 95 % ajasta, eli viikon aikana voidaan olla raja-arvojen ulkopuolella kahdeksan tuntia. Useimmiten jännitteen laatumittauksissa käytetään pitkiä näytteenottojaksoja, tällöin tulokset ovat keskiarvojen keskiarvoja, joissa nopeat muutokset eivät näy. Tästä syystä esityksissä käytettävien pienjänniteverkkojen mittauksissa on käytettävä mahdollisimman lyhyttä näytteenottojaksoa, jolloin myös nopeat muutokset näkyvät mittaustuloksissa. [17]

2.5.4. Käyttäjän vastuu sähkön laadusta

Yleiset verkkopalveluehdot määrittelevät myös liittyjän vastuun sähkön laadusta. Yleisellä tasolla tämä tarkoittaa, että sähkön käyttäjän on omalta osaltaan huolehdittava sähkön laadusta ja sille aiheuttamistaan ongelmista. Ehdot määrittelevät, että käyttäjän

on huolehdittava sähköasennustensa ja sähkölaitteidensa olevan säännösten ja määräysten edellyttämässä kunnossa niin, että niistä ei aiheudu vahinkoa tai häiriötä jakeluverkolla tai toisille käyttäjille. [21]

3. ESITYSTEN PIENJÄNNITEVERKON SUUNNITTELU JA MITOITUS

Suuret esitykset ja yleisötapahtumat järjestetään yleensä ulkona alueella, joka kokonsa puolesta sopii suurille ihmismäärille. Tapahtuma-alueelle rakennetaan muun muassa tilaisuudessa tarvittavat esiintymislavarakenteet, pukuhuoneet, keittiötilat, saniteettitilat, vesiverkko ja sähköverkko palvelemaan tilaisuuden tarpeita. Nämä rakenteet puretaan heti tapahtuman jälkeen. Tämä onkin leimaavaa tilaisuuksissa käytettävälle pienjänniteverkolle.

Ensimmäinen tehtävä tällaista verkkoa suunniteltaessa on ottaa selvää tapahtuma-alueen rakenteesta ja sen eri osien tehontarpeista. Seuraavaksi tapahtuma-alueelta on syytä selvittää siellä mahdollisesti sijaitsevien teholähteiden, esimerkiksi puistomuuntamoiden ja katusähkökeskusten käyttömahdollisuudet, sekä niissä vapaana olevan tehon määrä paikalliselta verkonhaltijalta. Näistä teholähteistä saatavilla olevien väliaikaisten sähköliittymien hinta ja saatavuus vaikuttavat omalta osaltaan huomattavasti verkon rakenteeseen. Jos tarvittavaa sähkötehoa ei ole mahdollista saada paikalliselta verkkoyhtiöltä tarvittavassa ajassa, tehokkaasti tai kohtuullisella hinnalla, on seuraava tehokas vaihtoehto käyttää siirrettäviä teholähteitä. Ennakkotiedoista saadaan selville tehontarpeet ja teholähteet. Kulutuksen ja tuotannon vastatessa toisiaan, suunnitellaan väliaikainen pienjänniteverkko. Kuten sähkötöissä yleensä, tulee suunnittelun alkaa turvallisuudesta ja käyttövarmuudesta. Komponenttien valinnassa on tärkeää huomioida niiden helppo ja nopea asennettavuus, sekä niiden soveltuvuus kyseiseen käyttöön.

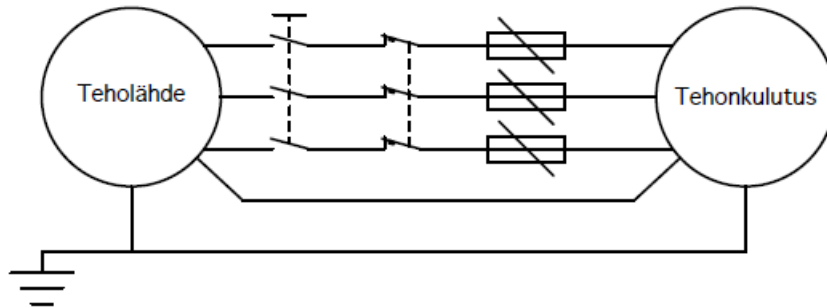
3.1. Syöttö- ja jakelujärjestelmät

Voidaan arvioida, että esityksissä käytettävän pienjänniteverkon syöttötapaan vaikuttavat muun muassa verkon sijoittuminen maastoon, paikalla valmiina olevan sähköverkon teholähteet, siinä vapaana olevat resurssit, käytössä olevat muut teholähteet, eri vaihtoehtojen kustannukset sekä syötölle haluttu varmuus. Seuraavassa on esitelty erilaisia verkon syöttötapoja teholähteittäin. Syöttötapaesimerkeissä keskitytään lähinnä väliaikaisten tehontarpeiden tyydyttämiseen.

3.1.1. Syöttötapa 1

Yksi teholähde syöttää verkkoa. Tällöin yhdestä teholähteestä saadaan verkon tai sen osan tarvitsema teho. Tämä on yksinkertaisin tapa syöttää väliaikaista pienjänniteverkkoa. Teholähteenä voi toimia esimerkiksi puistomuuntamon kiskostolla

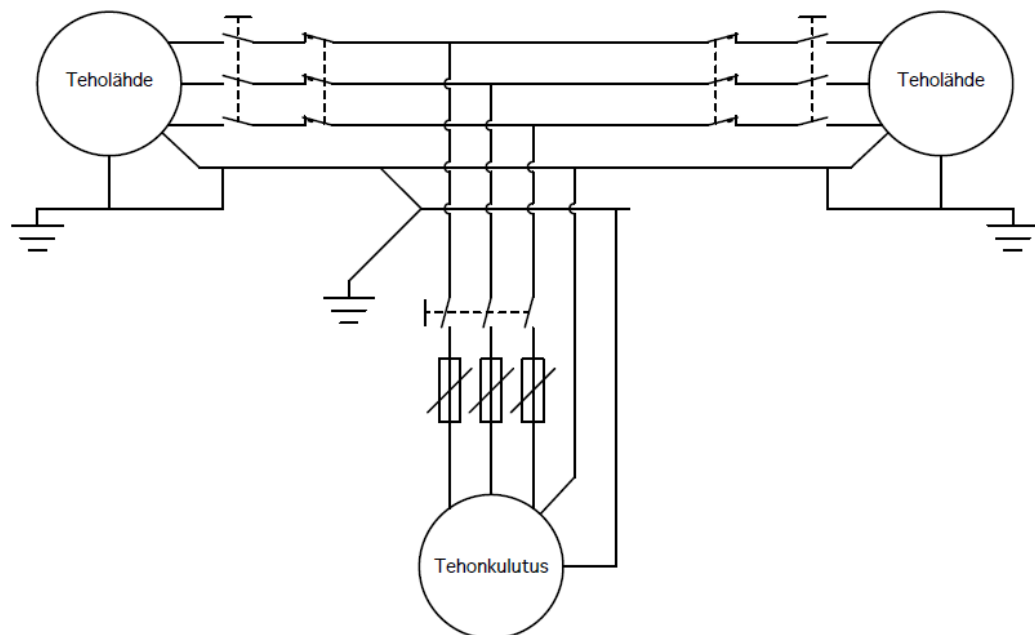
vapaana oleva lähtö, jolloin verkko on osa sitä syöttävää verkkoa ja tätä kautta osa valtakunnan verkkoa. Tällöin pienjänniteverkon yläpuolella olevissa verkoissa tapahtuvat sähkötekniset muutokset tai häiriöt voivat näkyä myös kyseisessä pienjänniteverkossa. Yksittäisenä teholähteenä voi toimia myös esimerkiksi generaattori. Tällöin verkkoa sanotaan saarekkeeksi ja se toimii omana itsenäisenä verkkonaan. Tällaista syöttötapaa vastaava esimerkkikytkentä on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5, Yksi teholähde syöttää verkkoa

3.1.2. Syöttötapa 2

Jos väliaikaisen pienjänniteverkon tarvitsema teho on niin suuri, ettei sen syöttämiseksi ole tarjolla yhtä tarpeeksi suurta teholähdettä ja kulutusta ei voida jakaa useampaan erikseen syötettyyn osaan, täytyy verkkoa syöttää kahdella erillisellä teholähteellä, jotka on kytketty rinnakkain. Hyvinä esimerkkeinä tällaisesta tapauksesta toimii kahden erillisen siirrettävän moottorigeneraattorin, tai muuntajan ja moottorigeneraattorin rinnankytkentä, jolla verkon tehontarve täytetään.

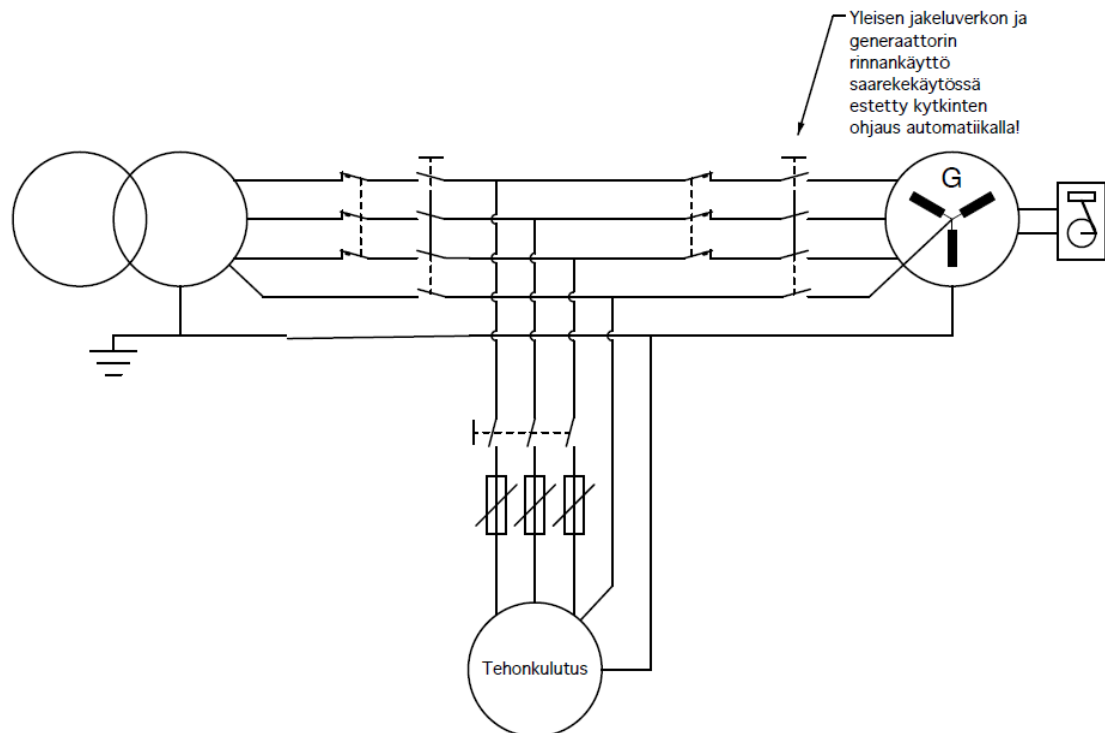


Kuva 6, Useampi teholähde syöttää verkkoa

Käytettäessä syöttönä muuntajan ja generaattorin rinnankytkentää, on kuitenkin huomioitava tahdistamattomaan kytkentään liittyvät vaarat ja niistä huolehtiminen. Tällaisessa tapauksessa on kuitenkin huomioitava yhden tai useamman generaattorin soveltavuus ja tarvittavat ominaisuudet, jotta ne soveltuvat rinnakkaiseen käyttöön. Kuva 6 on esimerkkikuva useamman tehonlähteen syöttämästä verkosta.

3.1.3. Syöttötapa 3

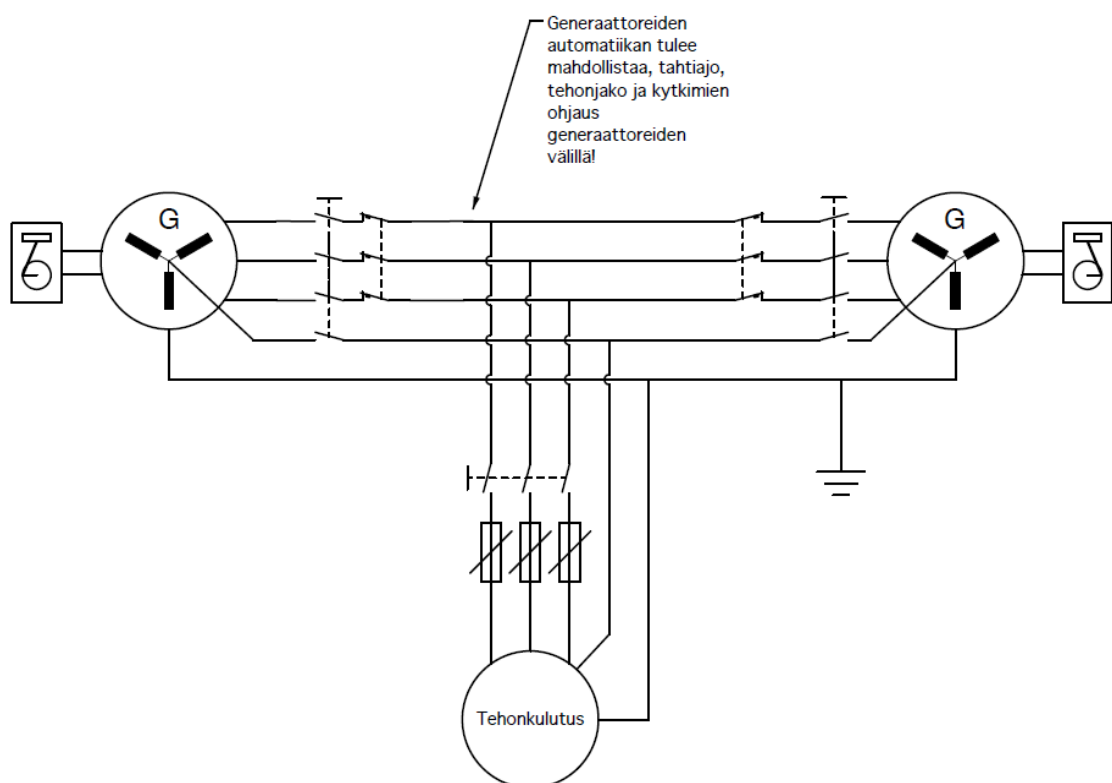
Erikoistapauksena voidaan pitää verkkoa, jonka sähkönsyötön katkeamattomuus halutaan varmistaa. Ensisijaisena tehonlähteenä toimii esimerkiksi muuntamon kiskosto, josta syötettävän verkon sähkönsaanti halutaan turvata. Kun sähkönsyöttö halutaan turvata myös pidemmissä sähkökatkoksissa, voidaan yksinkertaisimpana ratkaisuna pitää tapausta, jossa kiskostolta lähtevä verkon syöttö kulkee generaattorin kytkimen kautta. Muuntamon syötön ollessa kunnossa, kulkee verkon tarvitsema teho suoraan kytkimen läpi. Generaattorin tehonlähteenä toimiva polttomoottori käy, mutta siitä ei oteta tehoa. Muuntamon sähkönsyötön katketessa, siirrettävän generaattoriyksikön automatiikka havainnoi katkon ja kytkin siirtää tehon syötön verkosta generaattorille. Tällaista kytkentää varten tulee generaattorin olla varustettu syötön läpimenon mahdollistavilla liittimillä ja sisään tulevan jännitteen ominaisuuksia tutkivalla automatiikalla. Käytettäessä generaattoria sähkönsyötön varmistamiseksi on kuitenkin syytä huomioida SFS-6000 standardissa esitetty vaatimus: ”Moottorigeneraattorin ja yleisen jakeluverkon virtapiirin rinnankäytön tulee saarekekäytössä olla estetty.” Kuva 7 esittää varmistettua tehonsyöttöä. [22]



Kuva 7, Varmistettu sähkönsyöttö

3.1.4. Syöttötapa 4

Tilanteessa, jossa kiinteää tehonlähdetä ei ole saatavilla, mutta sähkönsyöttö halutaan varmistaa, on usein järkevintä käyttää varmistettua tehonlähdetä, joka on toteutettu kahdella rinnan ajettulla generaattoriyksiköllä. Tämänkaltainen kytkentä on esitetty kuvassa 8. Tämä syöttötapa asettaa vaatimuksia generaattoreiden ominaisuuksille. Generaattoreiden sähkönsyötöt on pystyttävä yhdistämään yhteen pisteeseen, esimerkiksi toisen generaattorin kiskostoon; generaattorit pitää pystyä tahdistamaan toistensa kanssa; molempien täytyy olla tarpeeksi tehokkaita syöttämään tehonkulutus yksin toisen vikaantuessa; ja molempien generaattoreiden ollessa käynnissä niiden täytyy osata jakaa tehonkulutus molempien yksiköiden kesken.



Kuva 8, Kaksi generaattoria syöttää verkkoa

3.2. TN –järjestelmät

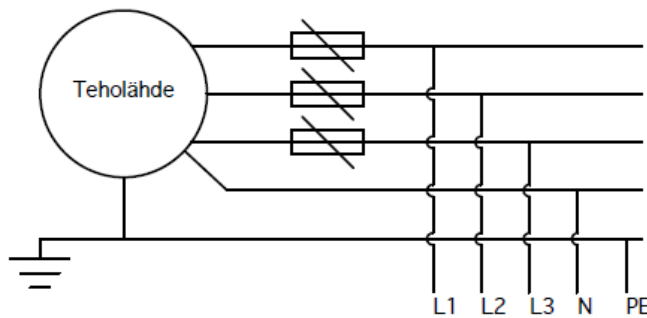
Jakelujärjestelmän luokittelusta käy ilmi järjestelmän perusominaisuudet, on kyse sitten talon tai esityksen väliaikaisesta sähköistyksestä. Näistä ominaisuuksista käy ilmi koko jakelujärjestelmän perusrakenne. Järjestelmät voidaan luokitella seuraavien ominaisuuksien perusteella: Jännitteisten johtimien ja maadoitusjohtimien tyypit ja lukumäärät, järjestelmän maadoittaminen, jännitelaji (AC / DC), nimellisjännite, nimellistaajuus, äärijohtimien lukumäärä, muut johtimet kuten nollajohdin N suojajohdin PE ja nämä yhdistävä PEN, järjestelmän maadoitustapa, joista esitysten

pienjänniteverkon puolella käytetään tapaa TN-S poikkeuksena kiinteät maakaapelisyötöt, joissa voidaan käyttää tapaa TN-C. [23]

Käsiteltäessä esitysten pienjänniteverkkoja on syytä käydä läpi järjestelmän maadoitusjärjestelmät, sekä niiden ominaisuudet. Tällaisessa verkossa käytettävä järjestelmä on tyyppiä TN eli virtapiirin yksi piste on suoraan maadoitettu ja sähkölaitteistojen ja -laitteiden jännitteelle alttiit osat on yhdistetty tähän pisteeseen suojajohtimen välityksellä. Tavallisesti tämä piste on kolmivaihejärjestelmän tähtipiste. TN -järjestelmät voidaan luokitella TN-S ja TN-C järjestelmiksi, sekä niiden yhdistelmäksi TN-C-S järjestelmäksi. [23]

3.2.1. TN-S –järjestelmä

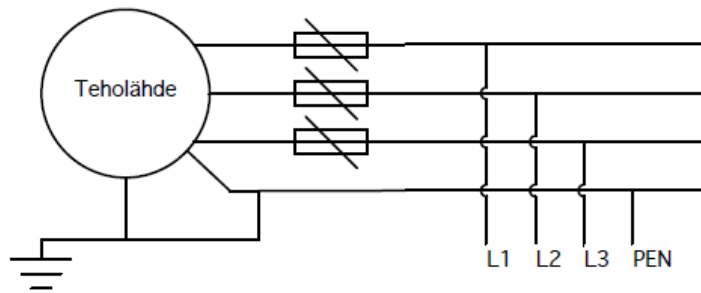
TN-S järjestelmässä on nollajohtimesta erillinen suojajohdin koko järjestelmän kaikissa osissa. Puhuttaessa väliaikaisesta pienjänniteverkosta, on johtimia oltava viisi (L1, L2, L3, N, PE). Koska järjestelmän kuormitus ei käytännössä koskaan ole symmetrinen, on järjestelmässä oltava nollajohdin. Kuvassa 9 on näkyvillä TN-S -järjestelmän periaatteellinen rakenne. [23]



Kuva 9, TN-S -järjestelmä

3.2.2. TN-C -järjestelmä

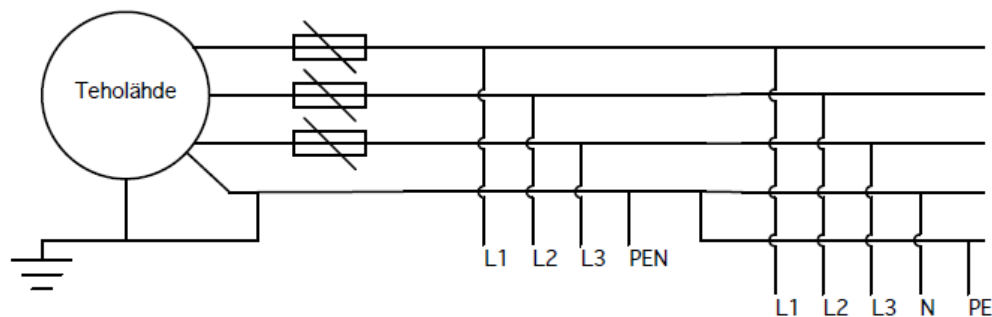
TN-C -järjestelmässä yksi johdin PEN toimii sekä suoja- että nollajohtimena koko järjestelmässä. On hyvä muistaa, että TN-C järjestelmää voidaan käyttää vain silloin, kun johtimien poikkipinta on vähintään 10mm^2 kuparilla tai 16mm^2 alumiinilla. TN-C -järjestelmässä käytetään neljää (L1, L2, L3 ja PEN) johdinta. Vanhoissa asennuksissa nollaus on yleisesti toteutettu ryhmäjohtotasolla ilman poikkipintavaatimuksia. Tämä voi aiheuttaa ongelmia ja rasittaa PEN -johdinta, jos järjestelmän syöttämän kuorman vaihevirratt vaihtelevat ja saattavat välillä olla voimakkaasti epäsymmetriassa, tai jos kuorma sisältää voimakkaita yliaaltolähteitä. Esimerkiksi vanhan rakennuksen sähkökeskuksen toimiessa pienjänniteverkon tehonlähteenä, on syytä muistaa, että PEN -johdin oli ennen nollajohdin, eikä sitä erotettu tavallisesta nollajohtimesta merkinnöin. TN-C -järjestelmä on esitetty kuvassa 10. [23]



Kuva 10, TN-C -järjestelmä

3.2.3. TN-C-S -järjestelmä

Kahden edellä esitellyn järjestelmän yhdistelmää kutsutaan TN-C-S -järjestelmäksi. Tällaisessa järjestelmässä syöttävänä verkkona on aina TN-C -järjestelmä ja TN-S kytketty järjestelmän osa sijaitsee verkossa sen jälkeen. Järjestelmää ei missään vaiheessa saa kytkeä uudestaan TN-C -järjestelmäksi. TN-C-S -järjestelmä on esitetty kuvassa 11. [23]



Kuva 11, TN-C-S -järjestelmä

Samassa verkossa voi olla käytössä useampia järjestelmiä, ja usein sähkölaitosten pienjännitejakeluverkoissa onkin käytössä TN-C -järjestelmä, jonka PEN-johtimen maadoituspiste on muuntamon tähtipiste. Näin ollen esimerkiksi puistomuuntamon kiskolta syötetään nelijohtimisen maakaapelin kautta pääkeskusta, jossa järjestelmä muutetaan TN-S järjestelmäksi, ja siitä eteenpäin verkko jatkuu viisijohtimisena varsinaiseen tehonkulutuspisteeseen. Esitysten pienjänniteverkoissa onkin syytä käyttää varsinaisen tehon runkosyötön jälkeen TN-S -järjestelmää. TN-S -järjestelmää tulee käyttää heti muuntamolta, pääkeskuksesta tai generaattorilta lähtien, mikäli välissä ei ole kiinteää maakaapelointia. Tämä on perusteltua niin turvallisuuden kuin häiriösuojauksenkin kannalta. TN-C -järjestelmää ja PEN-johdinta käytettäessä, verkossa olevien laitteiden suojamaadoitettujen osien välille voi muodostua suuriakin potentiaalieroja. Nämä potentiaalierot aiheuttavat harhavirtoja, jotka aiheuttavat häiriöitä verkossa oleville laitteille ja pahimmillaan voivat päätyä maadoitusten kautta esimerkiksi metallirakenteisiin. TN-C -järjestelmissä PEN-johtimen katkeaminen aiheuttaa turvallisuusriskin: tällöin vaihejännitteet voivat kiertää N- ja PE-johtimen eriyttämiskohdan kautta laitteen runkoon, ja esimerkiksi epäsymmetrisen kuorman sekä

yliaaltolähteiden vuoksi aiheutuvalle nollavirralle ei löydy luonnollista poistumisreittiä. [23]

3.2.4. Generaattorilla syötetty järjestelmä

Moottorigeneraattorilla syötettyjen sähköasennusten vikasuojaus on toteutettava standardin SFS 6000 mukaisesti. Vikavirtasuojia soveltuu käytettäväksi TN-S -järjestelmän mukaisessa verkossa. Puhuttaessa tapahtumien pienjänniteverkoista, moottorigeneraattorilla joudutaan harvoin syöttämään vanhoissa verkoissa käytössä olevaa TN-C -järjestelmää, joka hankaloittaa vikavirtasuojauksen toteutumista. Erikoistapauksena tällaisista syöttötilanteista voidaan mainita nelijohtimisen maakaapelin kautta syötetty verkko. Tällöin vikavirtasuojaus tulee toteuttaa kaapelin syöttämän keskuksen tasolla. Kun TN-C -järjestelmää syötetään generaattorilla, on suojauksen toteutumisen kannalta käytettävä jatkuvan oikosulkuvirran syöttävää generaattoria. [6]

3.3. Käytettävä kaapelointi

Kaapelit voidaan jakaa karkeasti kiinteästi asennettaviin ja taipuisiin liitäntäkaapeleihin. Taipuisat johdot, joista käytetään myös nimitystä kumikaapelit, koostuvat johdinten ohuista kuparilangoista ja niitä suojaavista kumisista kulutusvaipoista. Rakenne saa aikaan taipuisuuden ja hyvän mekaanisen kestävyuden. Nämä ominaisuudet ovat tärkeitä mietittäessä esityksien pienjänniteverkon kaapelointia. Käyttötapa ja -ympäristö aiheuttavat kaapeleihin suuria rasituksia. Elinkaarensa aikana kaapelit kuljetetaan, asennetaan, puretaan ja varastoidaan kymmeniä, jopa satoja kertoja. Tämä on otettava huomioon kaapelityyppiä valittaessa. Verkon suunnittelua ja asennustyötä kentällä helpottaa kaapeleiden yhtenevä mitoitus, sekä selkeät kaapeleiden kuormitettavuudet, jotka on helppo tunnistaa pienemmillä virroilla kolmivaiheisten pistorasioiden virrankestoisuudesta ja suuremmilla virroilla yksittäisten johdinten nimellisistä poikkipinta-aloista.

Johtimien poikkipintojen mitoitus ja kaapeleiden valinta on syytä aloittaa sähköasennuksen turvallisuuden näkökulmasta. Turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat johtimen oikea nimellisjännite, suurin sallittu lämpötila, oikosulkuvirtojen mahdollisesti aiheuttamat rasitukset, suurin sallittu jännitteen alenema, johtimiin kohdistuvat mekaaniset rasitukset, oikosulkusuojauksen toteutuminen ja johtimien tunnistaminen. Kaapelin kuormitettavuus määritellään sille sallitun suurimman lämpötilan mukaan. Tätä lämpötilaa ei saa pitkäkestoisesti ylittää, koska se aiheuttaa kaapelin käyttöiän lyhenemisen sekä mahdollisen tulipalovaaran. Käytännössä kuormituksen määrittely tapahtuu kaapelin kuormitusvirtojen avulla. Valmistajan antamia asennus- ja käyttöohjeita on noudatettava. [24] Seuraavassa taulukossa 4 on lueteltuna standardin SFS-6000 suosittelemat kaapelirakenteet kolmivaiheisissa jatkojohdoissa.

Taulukko 4, Taipuisien kaapeleiden kaapelirakenteet [25]

Mitoitusvirta (A)	CENELECIN mukainen tyyppi	Poikkipinta-ala _{minimi} (mm ²)
16	A05RN-F, H07RN-F, H05BB-F, H07BB-7	5*2,5
32	H07RN-F, H05BB-F, H07BB-7	5*6
63	H07RN-F, H07BB-7	5*16
125	H07RN-F, A07BB-F	5*50
250	H07RN-F, A07BB-F	5*95

3.3.1. Kaapeleiden mekaaniset rasitukset

Mekaanisista rasituksista on väliaikaisverkkojen suhteen tärkeää huomioida erityisesti seuraavia seikkoja: Suomen kylmän ilmastoin aiheuttamat vaatimukset kaapeleiden asennuslämpötiloille; kaapeliin kohdistuvat iskut ja puristukset, joita aiheutuu esimerkiksi maahan lasketun kaapelin yli kulkevista ihmismassoista ja ajoneuvoista; taipuisuus, joka helpottaa kaapelin rullaamista säilytystä varten. Asennus- ja purkuvaiheessa kaapelia joudutaan usein vetämään vasten maanpintaa. Tämä kuluttaa kaapelin ulkokuorta ja siksi ulkokuoren kestävyys onkin erityisen tärkeää. Esityksissä kaapeleiden asentamista suorittavan henkilöstön on oltava tarkkana kaapelissa näkyvien vaurioiden varalta, jotka on mahdollista huomata asennusvaiheessa.

Myös kaapeleiden oikea sijoittaminen maastoon on tärkeää. Järkevillä valinnoilla voidaan helposti pidentää kaapeleiden elinikää ja estää niiden turha vaurioituminen. Paras tapa ehkäistä näitä vaurioitumisia on suunnitella kaapelireitit niin, että kaapelilinjat kulkevat mahdollisuuksien mukaan yleisöalueen ulkopuolella. Kaapeleiden kulkiessa yleisöalueella, tulee niiden reitin kulkea alueen laidoilla, tai muuten sellaista reittiä, että ne ovat mahdollisimman hyvässä suojassa, esimerkiksi maaston ominaisuuksia hyödyntäen. Jos kaapeli joudutaan kuitenkin asentamaan niin, että se jää alueelle, jossa yleisö pääsee siihen helposti käsiksi, tai voi kompastua siihen, tai ajoneuvot voivat aiheuttaa sen rakenteelle vaurioita, on kaapeli suojattava joko alittamalla tällainen väylä esimerkiksi maahan kaivetussa putkessa tai suojattava kaapeli luotettavasti kiinnitetyllä mekaanisella lisäsuojuksella. Väliaikaistapahtumissa tulee kaapeleiden mekaanisissa lisäsuojuksissa huomioida niiden helppo käytettävyys. Näitä ominaisuuksia ovat helppo asennettavuus ja kuljetettavuus. Eri valmistajilta löytyykin tähän käyttöön toisiinsa kiinnittyviä kannellisia kaapelikouruja. Kaapeleiden oikeanlainen suojaaminen on tärkeä osa järjestelmän kokonaisturvallisuutta. Usein esimerkiksi itse laudoista tehty kaapelisuojaus ovatkin itsessään riski kaapeleille päästessään liikkumaan liikenteen seurauksena, vaurioittaen näin kaapelin rakennetta.

3.3.2. Nollajohtimen pinta-ala ja kuormitus

Kolmivaihejärjestelmissä nollajohtimen pinta-ala voi olla pienempi kuin vaihejohtimien, jos niiden pinta-ala on vähintään 16mm² kuparilla tai 25mm² alumiinilla. Tällöin nollajohtimen kuormitettavuutta ei kuitenkaan saa ylittää. [26]

Esitystekniikan kyseessä ollessa voidaan kuitenkin pitää perusteltuna, että nollajohtimen pinta-ala on sama kuin vaihejohtimillakin. Joissain tilanteissa verkon rakenne ja siinä olevien kaapeleiden kestävyys tuleekin mitoittaa nollajohtimen mukaan. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi kuormat, jotka sisältävät harmonisia yliaaltolähteitä ja tehoelektroniikkaa, sekä kuormat joiden vaiheiden välinen tehonkulutus vaihtelee suuresti. Esitystekniikassa tällaisia ovat muun muassa kolmevaiheiset himmentimet, joissa vaihekuormat muuttuvat valojen esityksen mukaisen himmentämisen seurauksena. Seuraavassa kaksi esimerkkiä, milloin kaapelointi ja muut verkon komponentit tulisi mitoittaa nollajohtimen kuormituksen mukaan:

1.) Järjestelmän kolmannen yliaallon osuuden ollessa 40 prosenttia, nollajohtimeen summautuvan yliaaltovirran suuruus on vaihejohdinten virtaa suurempi.

2.) Järjestelmä syöttää kolmivaiheista himmennintä.

Himmentimen tapauksessa rasittavin tilanne nollajohtimen kannalta voidaan laskea syntyväksi, kun himmentimeen kytketty ensimmäinen vaihe syöttää 100 prosenttista kuormaa, toinen vaihe syöttää 55 prosenttista kuormaa ja kolmas vaihe on kuormittamattomana. Tällainen vaiheiden välinen epätasapaino aiheuttaa 126 prosentin suuruisen vaihevirran nollajohtimeen.

3.3.3. Kaapeleissa käytettävät pistokytkimet

Kolmivaihepistokytkiminä Suomessa 400/230V jakelujännitteellä käytetään standardin SFS-EN 60309 mukaisia 3L-N-PE (6h) pistorasioita, kojevastikkeita, jatkopistorasioita ja pistotulppia. Yksivaihepistokytkiminä käytetään Suomessa 230V jakelujännitteellä standardin SFS-EN-5610 yleisten vaatimuksien mukaisia suojakosketinpistorasioita, -kojevastikkeita, -jatkopistorasioita ja -pistotulppia.[25] Tällaisia pistotulppia käytetään yksivaiheisissa johdoissa 16A:iin asti, ja kolmivaiheisissa kaapeleissa pistotulppia on yleisesti käytössä kokoluokissa: 16A, 32A, 63A, sekä 125A. [25]

3.3.4. Yksivaiheiset johtimet

Kaapelin vaihekohtaisen mitoitusvirran ylittäessä 125 ampeeria viisijohtimisen kaapelin fyysiset ominaisuudet alkavat vaikeuttaa sen asentamista ilman koneellista apua. Väliaikaisessa pienjänniteverkossa onkin järkevää käyttää yksivaiheisia taipuisia kumipäälysteisiä liitäntäkaapeleita. Tällöin kaikilla kolmella vaiheella, nollalla ja suojamaalla on omat erilliset johtimensa. Tällöin suuresta mitoitusvirrasta huolimatta pystytään säilyttämään kaapeleiden hyvä taipuisuus, järkevä paino ja niiden seurauksena myös helppo asennettavuus. Tällaisten johtimien yleisimmät poikkipinta-alat ovat 95mm^2 , 120mm^2 , 180mm^2 ja 240mm^2 . Kaapeleiden kuormittavuutta suunniteltaessa on noudatettava valmistajan ilmoittamia arvoja asennustavasta riippuen. Jotta tällaisten kaapeleiden käyttö olisi nopeaa, voi kytkemistä helpottaa käyttämällä yksivaiheisia kenttäolosuhteisiin tarkoitettuja liittimiä. Tällaisia ovat esimerkiksi kuvassa 12 näkyvät Veamin valmistamat PowerLock-liittimet. Tämä liitintyyppi on tarkoitettu raskaisiin ulko-olosuhteisiin. Niiden IP luokitus on 67, virrankestoltaan niitä saa aina 660

ampeeriin asti ja liittimen lukitus on suunniteltu niin, ettei sitä saa aukaistua ilman työkaluja. [27], [Liite 2, Kotelointiluokat]



Kuva 12, PowerLock liitin

3.4. Käytettävät keskukset

Tapahtumissa käytettävien keskusten ja niissä olevien osien on kestävä niille tarkoitettussa käytössä. Niiden tulee olla lujarakenteisia ja kotelointiluokan riittävä. Työmaakeskusten erityisvaatimukset löytyvät standardista SFS-EN 60439-4: 1991 ja sen muutososista. Se ei ole itsenäinen standardi vaan täydentää jakokeskuksien vaatimusten päästandardia SFS-EN 60439-1. Standardi SFS-EN 60439-4 koskee rakennustyömailla ja muissa tilapäislaitteistoissa käytettäviä keskuksia ja on siis käyttökelpoinen myös esityksien väliaikaisia verkkoja käsiteltäessä. Tämä standardi ei kuitenkaan koske toimistoihin, pukuhuoneisiin, kanttiineihin ja muihin vastaaviin tarkoitettuja jakokeskuksia.[28],[29]

3.4.1. Työmaakeskusten määritelmät

Työmaan liittymis- ja mittauskeskus sijaitsee väliaikaisasennuksen puolella ja on tarkoitettu yleiseen sähköjakeluverkkoon, muuntamoon tai generaattoriin liitettäväksi ja verkossa kulutettavan sähköenergian mittaamiseen. Keskukseen kuuluu tavallisesti suojattu tila, jossa on liitälaitteet syöttökaapeleille ja mittaukselle, sekä ylikuormitus- ja oikosulkuvirran katkaisu- ja suojalaitteet lähtökaapelille. Syöttöyksikössä kaapeleiden liitälaitteiden on oltava yksikön virran nimellisarvoihin sopivia. Syöttöpuolella erotuslaitetta ja ylivirtasuojalaitetta käytetään, jos sähkön toimittaja tai viranomaisen tätä edellyttää. Sähkön toimittajan tulee hyväksyä mittausjärjestelmä. Lähtöyksikössä on oltava erottamiseen, kuorman kytkemiseen ja ylivirtasuojaukseen soveltuvat laitteet, sekä menetelmä kosketussuojaukseen vikatapauksessa. Lähtöyksikössä on myös oltava

auki-asentoon lukitsemisen mahdollistava erotuskytkin. Kytkinlaitteen on toimittava samanaikaisesti kaikille vaiheille ja siihen on päästävä helposti käsiksi ilman avainta tai työkalua. Keskukseen on varattava tila energiamittarille ja tariffinohjauslaitteelle. Myös virtamuuntajien ja jännitemittauksen varokkeitten tarvitsema tila tulee huomioida keskuksessa. Mittauksen etupuolella olevat tilat varustetaan sinetöimismahdollisuudella. [29]

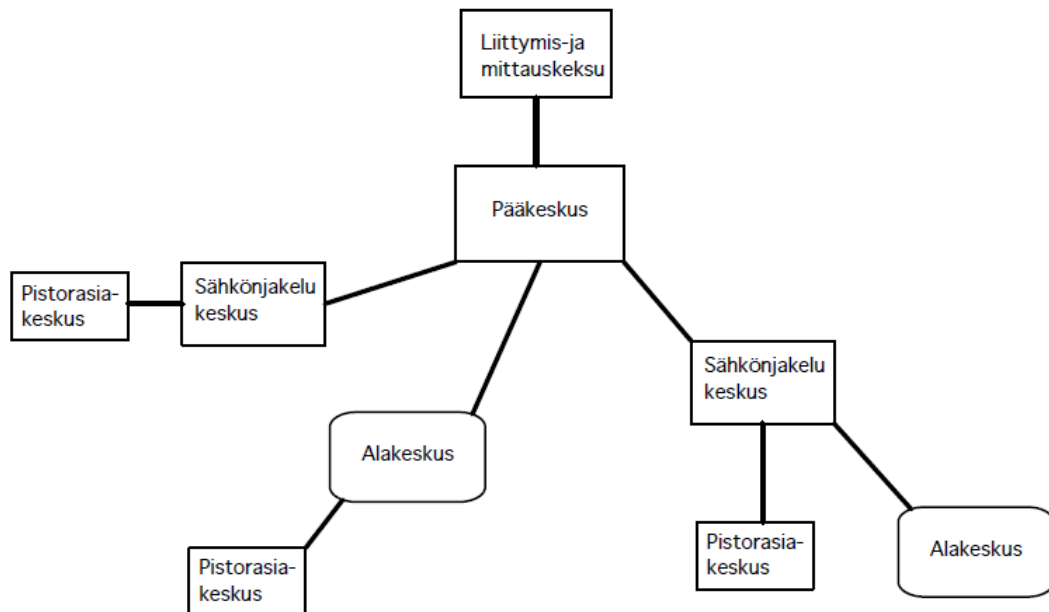
Työmaan pääkeskus sijaitsee liittymis- ja mittauskeskuksen kuormituspuolella, johon verkon eri osien syöttökaapelit liitetään. Keskukseen kuuluu yksi syöttöyksikkö ja useita lähtöjä. Syöttöyksikössä on oltava erotuslaite ja ylivirtasuojalaite. Erotuslaitteen on oltava auki-asentoon lukittava. Ylivirtasuojaa ei tarvita tapauksessa, jos pääkeskusta syötetään liittymiskeskukselta. Syöttöyksikön nimellisvirran on oltava vähintään 630A. Lähtöyksikössä on oltava erottamiseen, kuorman kytkemiseen ja ylivirtasuojaukseen soveltuvat laitteet, sekä menetelmä kosketussuojaukseen vikatapauksessa. Jos työmaan pääkeskusta ennen ei ole liittymis- ja mittauskeskusta, tulee keskukseseen varata tila energiamittarille ja tariffinohjauslaitteelle. [29]

Työmaan sähköjakelukeskukseen kuuluu syöttöyksikkö, joka on nimellisvirraltaan yli 125A ja enintään 630A, sekä yksi tai useampi lähtöyksikkö. Syöttöyksikköön on sijoitettava ylivirtasuojalaite ja erotuslaite, jotka on voitava lukita auki-asentoon. Ylivirtasuojaa ei tarvita, jos alakeskus on liittymiskeskuksen tai pääkeskuksen kuormituspuolella. Lähtöyksikössä on oltava erottamiseen, kuorman kytkemiseen ja ylivirtasuojaukseen soveltuvat laitteet, sekä menetelmä kosketussuojaukseen vikatapauksessa. [29]

Työmaan alakeskus liitetään suuremman työmaakeskuksen kuormituspuolelle ja siihen liitetään siirrettävät sähkölaitteet. Nimellisvirta on enintään 125A. Syöttöyksikköön on sijoitettava ylivirtasuojalaite ja erotuslaite, joka on voitava lukita auki-asentoon. Ylivirtasuojaa ei tarvita, jos alakeskus on liittymiskeskuksen tai pääkeskuksen kuormituspuolella. Lähtöyksikössä on oltava erottamiseen, kuorman kytkemiseen ja ylivirtasuojaukseen soveltuvat laitteet, sekä menetelmä kosketussuojaukseen vikatapauksessa. Jos alakeskus on kytketty jonkin yllämainitun keskuksen yhteyteen, voidaan alakeskuksen syöttöyksikkö silloin jättää pois. [29]

Työmaan pistorasiakeskuksessa kaikissa lähtöliitännöissä on pistorasiat. Pistorasiakeskus on siirrettävä ja siinä on tavallisesti syöttöyksikkönä taipuisa liitäntäkaapeli varustettuna pistotulpalla sekä lähtöyksikkö, jossa lähtökaapelit liitetään yksinomaan pistorasioihin. Pistorasioilla on oltava oman nimellisvirtansa mukainen ylikuormitussuoja, sekä menetelmä kosketussuojaukseen vikatapauksessa. [29]

Työmaan keskussarja -nimitystä käytetään keskusten kokonaisuudesta, joka soveltuu sähköiskulta suojausta koskevilta ominaisuuksiltaan käyttöpaikan järjestelmään. Kuvassa 13 on esitetty erilaisia yhteenliitäntätapoja oikeaoppisen keskussarjan muodostamiseksi. Tapahtumien väliaikaisissa verkoissa tärkeää on, että keskukset huolehtivat selektiivisestä suojauksesta katkaisukyvyyn, virta-asettelun ja toiminta-aikojen sopivalla valinnalla. Näin vältetään suurien alueiden turhilta sähkökatkoilta ja vian paikantaminen on helpompaa. [29]



Kuva 13, Periaatekuva keskuksien yhteen liittäminen väliaikaisverkossa [30]

3.4.2. Keskuksien ominaisuudet

Seuraavat säädökset koskevat työmaakeskuksia ja niiden vikavirtasuojausta. Kaikki enintään 32A pistorasioita syöttävät ryhmäjohdot on suojattava mitoitusvirraltaan enintään 30mA vikavirtasuojilla. Jos mitoitusvirraltaan 32A pistorasiaa käytetään muiden työmaakeskusten syöttämiseen, sitä ei tarvitse suojata 30mA vikavirtasuojalla edellyttäen, että rakenteella tai varoituskilvellä ehkäistään näiden pistorasioiden käyttö muuhun tarkoitukseen tai syötettävä keskus sisältää 30mA vikavirtasuojan ja edellisestä keskuksesta tullaan vain läpi. Mitoitusvirraltaan enintään 16A pistorasia pitää aina suojata 30mA vikavirtasuojalla. Nimellisvirraltaan yli 32A pistorasiat on suojattava enintään 500mA vikavirtasuojalla, tämä koskee 1.4.2008 jälkeen valmistettuja keskuksia.

Väliaikaiseen käyttöön tarkoitetuissa työmaakeskuksissa liitäntäjohtona on syytä käyttää riittävän kestävästä kaapelista, vähintään lajia H07RN-F, kolmivaihepistokytkiminä standardin SFS-EN 60309 mukaisia pistorasioita ja pistotulppia ja yksivaihepistokytkiminä standardin SFS-EN 50160 mukaisia suojakosketinpistorasioita. Vikavirtasuojakytkin tulee sijoittaa keskukseen siten, että se on helposti ja turvallisesti käsiteltävissä yleensä ilman työkalua avattavan oven tai luukun takana. Vain pistorasiat, kahvat ja ohjauspainikkeet saavat olla keskuksen ulkopinnalla.

Keskuksessa olevasta arvokilvestä tulee voida tarkastaa keskuksen ominaisuudet ja sen yhteensopivuus muuhun järjestelmään. Arvokilvestä tulisi löytyä ainakin valmistajan nimi ja mallimerkintä, nimellisteho, nimellisteho ja koteloitiluokka. Näiden tietojen perusteella on mahdollista tarkastaa keskuksen soveltuvuus käyttöön.

myös kenttäolosuhteissa. Työmaakeskuksen kotelointiluokan tulee kaikki ovet suljettuina, irrotettavat levyt ja laipat paikallaan, olla vähintään IP 44. [29]

Tapahtumien verkon väliaikaisen luonteen ja kaluston suuren liikkuvuuden takia tulee keskuksia valittaessa kiinnittää huomiota keskuksen jalustaan ja nosto- ja käsittelylaitteeseen. Keskuksen rakenteen tulee olla sellainen, että pistorasioiden ja niihin liitettyjen pistotulppien mekaaninen vaurioituminen on estetty. Erityisesti syöttöpuolen kaapeliliitännöissä ja suurien pistotulppien osalta tulee huomioida kaapelin taivutussäde ja liittämiseen tai kytkemiseen tarvittava riittävä käsittelytila. Jalustan tulee olla sellainen, että keskus saadaan pysymään tukevasti käyttöasennossaan haastavassakin maastossa. Keskukseen kiinnitettyjen nosto- ja käsittelylaitteiden on oltava runkoon lujasti kiinnitettyjä ja sellaisia, että ne mahdollistavat keskuksen helpon pakkaamisen ja purkamisen esimerkiksi kuorma-auton lavalta. Keskuksen koosta riippuen sen on oltava helposti liikuteltavissa kantaen, tai suurempien keskusten tapauksessa esimerkiksi trukilla. [29]

3.5. Turvallisuuteen liittyvät suojausmenetelmät

Suojaus sähköiskulta vaatii sekä kosketussuojauksen että kosketusjännitesuojauksen toteuttamista. Kosketussuojauksen avulla estetään ihmisiä joutumaan kosketuksiin jännitteisten osien kanssa sähkölaitteen ollessa ehjä. Kosketusjännitesuojaus taas toteutetaan suojalaitteella, joka katkaisee jännitteen automaattisesti vikatilanteessa. Suojausmenetelmiä sähköiskun varalle käsitellään standardin SFS 6000 kappaleessa 4, Suojausmenetelmät. Tähän kappaleeseen on poimittu esityksissä käytettävän pienjänniteverkon suojaamisen kannalta olennaisimpia asioita. Sähköjärjestelmän kannalta on tärkeintä, että sen turvallisuus on taattu normaalissa käyttötilanteessa perussuojauksen avulla ja mahdollisessa vikatilanteessa vikasuojauksen avulla. [31]

3.5.1. Perussuojaus

Perussuojauksen tarkoituksena on estää mahdollisuus koskea jännitteisiin osiin kaikissa sähköjärjestelmän osissa. Käytännössä suojaus toteutetaan suojaamalla ja koteloidamalla sähköjärjestelmän komponentit johdosta keskukseseen, niin ettei jännitteisiin osiin koskeminen ole käytännössä mahdollista. Esimerkkinä suojauksesta ja koteloinnista voidaan pitää sähköjohtojen uloimman kerroksen muodostavaa kumista vaippaa tai sähkökeskuksen metallista koteloa. Näiden suojausten ja kotelointien tulee olla niin kestäviä, että niiden luoma suojaus säilyy kaikissa mahdollisissa sisäisten tai ulkoisten tekijöiden niille aiheuttamissa rasisustiloissa. [32]

Yksi perussuojauksen suojaustoimenpiteistä on sijoittaa mahdollisesti vaaraa aiheuttava sähköjärjestelmän osa kosketusetäisyyden ulkopuolelle. [32] Vaikka pienjänniteverkon osat, esimerkiksi keskuksat, ovat jo valmiiksi kosketussuojattuina, kannattaa niiden sijoittamisessa tapahtuma-alueelle käyttää erityistä varovaisuutta. Tilanteessa, jossa jokin verkon osa, esimerkiksi sähkökeskus tai generaattori joudutaan sijoittamaan yleisöalueelle, kannattaa se ympäröidä aidalla, joka estää fyysisen

koskemisen kyseiseen verkon komponenttiin ja näin estää myös esimerkiksi torimyyjiä kytkemästä omia pistotulppiaan järjestelmään ilman sähköurakoitsijan lupaa.

Yleisötapauksissa käytettävien keskusten ja muiden sähkölaitteiden tapauksessa on erityisesti hyvä muistaa, että verkon osien on kestettävä niille tarkoitettu käytössä. Niiden tulee olla lujarakenteisia ja kotelointiluokan riittävä. Mikäli tarvittavaa sähkölaitetta ei ole saatavana sellaisella rakenteella, joka vastaa käyttöpaikan olosuhteita, tulee tapauskohtaisin suojauksin varmistaa, ettei laitteen käyttö aiheuta vaaraa. Laitteen rakennetta ei kuitenkaan saa muuttaa. Esityksissä käytettävien keskuksien suojauksia koskevat määräykset käytiin läpi tämän työn kappaleessa 3.4.2. [33]

3.5.2. Vikasuojaus

Vikasuojauksella tarkoitetaan suojausta tapauksissa, joissa normaalisti jännitteetön osa tulee jännitteiseksi muualla verkossa sattuneen vian, tai kyseisen verkon osan mekaanisen vaurioitumisen vuoksi. Vikasuojaukseen käytetään yleisesti kahta toisistaan riippumatonta menetelmää: mietittäessä esitystekniikkaa, jossa käytettävät laitteet ovat ihmisten kosketusetäisyydellä tai kiinni rakenteissa, joihin ihmiset pääsevät koskemaan, yleisimmät menetelmät ovat laitteen kosketettavissa olevien osien potentiaalinen taseus käyttämällä suojajohdinta (PE), sekä syötön automaattinen poiskytkentä vikavirtasuojia käyttäen. Vikavirtasuojien asettelun määrää se millaisen syötön suojana kyseinen vikavirtasuojia toimii. [34]

Yleistettynä sääntönä voidaankin todeta, että sulakkeet toimivat johdon suojina ja vikavirtasuojat henkilöiden suojina. Sulakkeiden lisäksi tilapäisrakenteita syöttävien kaapeleiden suojaukseen suositellaan käytettäväksi syötön alkupäähän sijoitettuja mitoitus toimintavirrallaan enintään 500mA vikavirtasuojia. Jotta järjestelmän selektiivisyys saavutettaisiin ryhmäjohtoja suojaavien vikavirtasuojien kanssa, on kaapeleiden suojaamiseen käytettävä viiveellä varustettua, standardien SFS-EN 61008-1, SFS-EN 61008-1 tai SFS-EN 61009-1 mukaisia S-tyypin suojalaitteita. Suositus lisäsuojauksesta perustuu niiden kasvaneeseen vaurioalttiuteen tilapäisrakenteiden yhteydessä. [32]

Esityksien pienjänniteverkon vikavirtasuojauksia pohdittaessa on syytä huomioida verkosta summautuva vikavirta. Maajohtimen nollapisteessä vikavirta voi kohota suureksi, vaikka varsinaisia viasta johtuvia sulkuvirtoja ei olisikaan. Tämä on syytä huomioida vikavirtasuojauksia suunniteltaessa. Vikavirtasuojien virta-asettelun tulisikin olla verkossa eteenpäin mentäessä pienentyvä. Näin yhdessä pienjänniteverkon osassa tapahtuva vika ei aiheuta koko kyseisen verkon poiskytkemistä jännitteettömäksi. Eri keskuksissa tapahtuva lähtökohtainen vikavirtasuojaus säilyttää selektiivisyyden, rajoittaa vian aiheuttamaa haittaa sekä helpottaa viallisen laitteen löytämistä.

3.5.3. Generaattorin turvallisuutta koskeva suojaus

Generaattorin syöttämän verkon kosketusjännitesuojaus tulee pyrkiä toteuttamaan standardin SFS 6000-4-411 määritelmien mukaisesti, huomioiden standardin kohdassa 511.4 mainitut erityistapaukset: ”Koska generaattorin syöttämässä sähkölaiteistossa ei siis aina voida toteuttaa syötön automaattista poiskytkentää tavallisilla ylivirtasuojilla, voi suojauksen toteuttaa käyttämällä joko erilaisia vikavirtasuojakytkimiä tai maasulku-, vakioaikaylivirta- tai alijännitesuojalaitteen ohjaamaa kompaktikatkaisijaa. Muussa kuin henkisuojauksessa esimerkiksi pääjohtojen suojauksessa voidaan käyttää 100, 300 tai 500 milliampeerin vikavirtasuojakytkimiä.” [6]

Generaattorin syöttämien pienjänniteverkkojen ylivirtasuojaus tulee toteuttaa standardin SFS6000 kohtien 43, 473, 551.5 mukaisesti. Ylikuormitussuojaus on toteutettava niin, että se toimii kaikissa käyttötilanteissa. Sulakkeita käytettäessä on huomioitava niiden oikea mitoitus. Koska sulakkeet toimivat vasta tarpeeksi suurella ylivirralla, on sulakkeen oikean koon valinta tärkeää. Sillä varmistetaan niiden toiminta turvallisesti syötettävän järjestelmän suojana. Oikosulkusuojaus toteutuu nykyaikaisilla generaattoreilla niiden alijännitelaukaisun kautta. Generaattori voidaan kytkeä järjestelmään tapauskohtaisesti joko kiinteästi, puolikiinteästi tai pistokytkimellä. [34]

3.6. Esityksissä käytössä oleva esitystekniikka

Esityksien toteuttamiseen käytettävä esitystekniikka voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri ryhmään: kuva-, valo- ja äänitekniikka. Kuvatekniikka pitää sisällään kaluston, jota käytetään kuvan taltiointiin ja esittämiseen. Valotekniikka koostuu erilaisista valaisimista ja niiden ohjaamiseen tarvittavasta kalustosta. Äänitekniikka pitää sisällään äänen tallentamiseen ja toistamiseen tarvittavat laitteet. Tässä työssä keskitytään esitystekniikan laitteisiin, jotka ovat sähkönjakelun kannalta merkittäviä tehonkulutuksensa ja muiden ominaisuuksiensa osalta, ja joita käytetään yleisesti suurissa yleisötaphtumissa. Kokemuksen mukaan esitystekniikka on yleisötaphtumissa yleisesti suurin yksittäinen tehon kuluttaja. Esimerkiksi suuren festivaalilavan esitystekniikan yhteenlaskettu virrankulutus voi nousta vaihekohtaisesti yli 1000A.

Esitystekniikan kannalta lyhyetkin sähkökatkokset ovat usein esitystä ajatellen haitallisia. Esitystekniikan eri osa-alueet sisältävät paljon laitteita, jotka sammuvat jo lyhyessä sähkökatkokuksessa ja niiden uudelleenkäynnistäminen saattaa kestää jopa kymmeniä minutteja. Valo-, ääni-, ja kuvatekniikan signaaliin prosessointiin käytetään tietokoneita ja tietokonepohjaisia laitteita, joiden uudelleen käynnistyminen vie aikaa. Tänä aikana esitys on pysähdyksissä. Myöskään valo- ja kuvatekniikan käyttämät kaasupurkauspolttimet eivät sammuttuaan syty välittömästi, vaan vaativat aikaa jäähtyäkseen ennen uudelleensyttymistä. Alla olevassa kuvassa 14 on esitelty esitystekniikan kolme pääryhmää, joiden sisältämää tekniikkaa on käyty tarkemmin läpi seuraavissa kappaleissa.

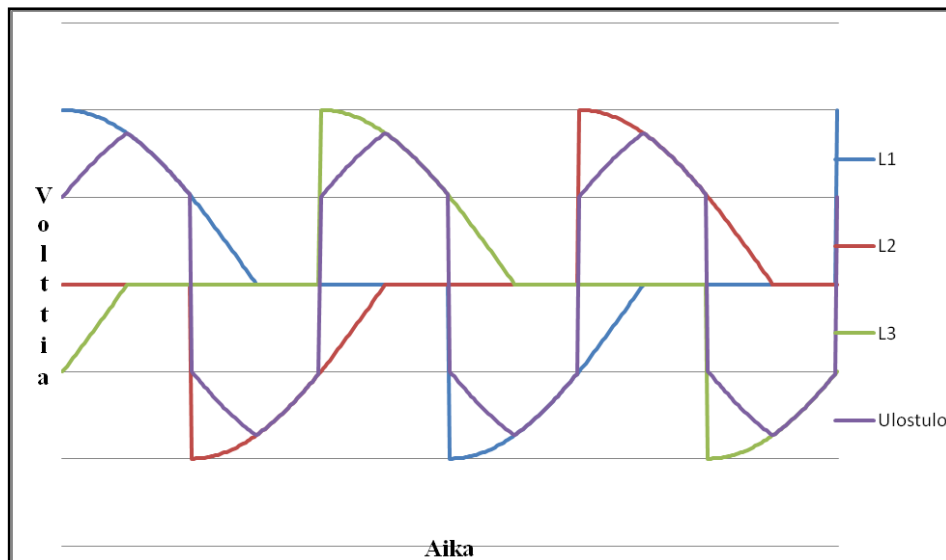


Kuva 14, Esitystekniikan eri osa-alueet

3.6.1. Valotekniikka

Valotekniikka on yleensä tehonkulutukseltaan esitystekniikan ryhmistä suurin. Siihen kuuluvat kaikki esityksen valaisemiseen kuuluvat osa-alueet. Valotekniikka voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään: himmentimen kautta syötettyihin hehkulankapolttimon sisältäviin valaisimiin sekä omalla elektronisella kuristimellaan ja kaasupurkauspolttimoillaan varustettuihin valonheittämiin.

Himmentimet ovat yleisesti kolmivaiheisella syötöllä varustettuja tyristorisiltoja, tai uudemmissa malleissa muilla tehoelektronikan komponenteilla toteutettuja yksiköitä, joissa valon himmentäminen perustuu jännitteen leikkaamiseen. Ne ovat ulostulokanavamääriltään kuudesta jopa satoihin kanaviin. Kanavien syöttämät polttimet ovat kokoluokaltaan muutamasta sadasta watista tuhansiin watteihin. Näin ollen niiden tarvitsema pätöteho vaihtelee muutamasta kymmenestä useisiin satoihin kilovolttiampeereihin riippuen valaistusjärjestelmän kokoluokasta. Himmentimet sisältävät tehoelektronikan komponentteja, kuten hakkureita ja suuria käämejä. Konsertin aikana valaisinryhmiä himmennetään erilaisten valotilanteiden aikaansaamiseksi ja tästä syystä himmenninyksiköiden aiheuttamat vaiheiden väliset kuormitukset voivatkin vaihdella voimakkaasti. Vaiheiden välisien kuormituserojen ja himmentimien sisältämien tehoelektronikan komponenttien vuoksi voidaankin olettaa, että ne aiheuttavat järjestelmää syöttävään verkkoon vaihtelevan määrän häiriötä. Kuvassa 15 on näkyvillä kolmivaiheisen himmentimen toiminta vaihejännitteiden tasolla.



Kuva 15, Periaatekuva kolmevaiheisen himmentimen jännitteenleikkauksesta

Valotekniikan toisena pääryhmänä voidaan pitää valojärjestelmän omien sähkökeskusten kautta syötettäviä laitteita ja valaisimia. Määrällisesti suurin osa tästä kuormasta ovat liikkuvat valonheittimet. Liikkuvassa valonheittimessä polttimona on yleisesti kokoluokaltaan 100 watista 2500 wattiin kaasupurkauspolttimo, jota syötetään lamppukohtaisella kuristimella. Polttimoiden himmentäminen tapahtuu mekaanisesti tai elektronisesti ohjatulla kuristimella. Nämä valaisimet sisältävät myös paljon pieniä servo-ohjattuja moottoreita, joiden tehtävänä on vaihtaa valaisimen asentoa tai muuttaa valaisimen tuottamaa valokiilaa halutulla tavalla. Liikkuvien valonheittimien sisältämä kuristimen ja moottoritekniikan voidaan olettaa aiheuttavan verkkoon loistehoa ja yliaaltolähteen.

Valojärjestelmän sähkökeskusten kautta syötettäviin valaisimiin kuuluvat myös suuritehoiset stroboskooppivalaisimet. Niissä olevaa erikoisvalmisteista polttimoa syötetään nopeilla virtapulsseilla, joilla valo saadaan välkkymään nopealla tahdilla. Ne ovat yleisesti kokoluokaltaan muutaman tuhannen watin tehoisia yksivaiheisia yksiköitä. Suuressa konserttivalaistusjärjestelmässä tämäntyyppisiä valaisimia voi olla useita kymmeniä. Näin niiden aiheuttamat nopeat virtapiikit voivat olla vaihekohtaisesti useita satoja ampeereja. Valojärjestelmän sähkökeskuksen kautta syötetään myös muita efektilaitteita, kuten savukoneita sekä valojärjestelmää ohjaavaa signaalijärjestelmää.

Led-tekniikkaan perustuvien valaisimien kehitys on ollut nopeaa ja niiden suosio konserttivalaistuksessa kasvaa koko ajan. Led-valaisimien tarvitsema teho on normaaleita halogeeni- ja purkauspolttimovalaisimia pienempi. ”Ledien” teholahteina käytettävissä tasasuuntauskomponenteissa syntyvät yliaallot ja muut häiriöt kuitenkin lisäävät kokonaishäiriöiden määrää verkossa. Puhuttaessa useista sadoista led-valaisimista niiden aiheuttamat säröt ja loistehon tarpeet ovat huomattavia.

3.6.2. Äänitekniikka

Äänitekniikan tehonkulutus vaihtelee yleisesti äänijärjestelmän koosta riippuen vaihekohtaisesti muutamasta kymmenestä ampeerista muutamaa sataan ampeeriin. Tämän ryhmän suurin yksittäinen tehontarvitsija ovat audiovahvistimet, jotka tuottavat äänentoistojärjestelmien kaiuttimien tarvitseman tehon. Nykyaikaiset vahvistimet perustuvat hakkuritekniikkaan ja vanhemmat on toteutettu muuntajilla. Audiovahvistimet ovat yleensä yksivaiheisella syötöllä varustettuja ja tarvitsevat noin kymmenen ampeerin virran. Niistä koostuvat suuremmat yksiköt ovat kuitenkin yleisesti kolmivaiheisen syötön vaativia. Konserttilavan äänentoistojärjestelmät voidaan jakaa yleisölle suunnattuun PA-järjestelmään ja muusikoiden tarkkailukuunteluun tarkoitettuun monitorointijärjestelmään. Vahvistimien viemä teho vaihtelee suhteessa tuotettuun äänenpaineeseen muodostaen näin konsertin aikana vaihtelevan kuorman.

Äänijärjestelmän osana ovat myös sen signaalin käsittelyyn ja siirtoon tarvittavat laitteet. Nämä eivät kuitenkaan muodosta kulutukseltaan huomattavan suurta kuormaa, vaihekohtaisen virrantarpeen ollessa korkeintaan muutamia kymmeniä ampeereja.

Kolmas äänijärjestelmästä helposti esiin nostettava ryhmä on taulukossakin mainittu backline, jolla tarkoitetaan muusikoiden käyttämien soittimien ja vahvistimen, kuten kitaravahvistimien muodostamaa ryhmää. Myöskään tämän ryhmän kuluttama teho ei ole huomattavan suuri, ollen vaihekohtaisesti korkeintaan muutamia kymmeniä ampeereja.

3.6.3. Kuvatekniikka

Kuvatekniikka on esitystekniikan kolmas selkeä kokonaisuus. Kuvatekniikka pitää sisällään kaiken tapahtumien taltiointiin ja tapahtuman aikaisiin videonäyttöihin käytettävän tekniikan. Ryhmän suurin yksittäinen tehonkuluttaja ovat videonäytöt, jotka nykyisellään ovat pääasiallisesti led-tekniikkaan perustuvia näyttötauluja. Näyttöjen aiheuttama kuorma muodostuu pääasiallisesti ledien ohjaukseen käytettävistä tasajännitepulsseja antavista tehoyksiköistä, jotka on toteutettu tyypistä riippuen erilaisilla tasasuuntaajilla. Yleensä moduuleista koostuvan videotaulun jokainen pala sisältää tarvitsemansa signaali- ja teholähteen. Moduuleja syötetään näyttötaulukohdasta, tarkoitukseen valmistetusta sähkökeskuksesta. Videonäyttökohtainen virrankulutus on suhteessa taulun kokoon, ollen yleisesti vaihekohtaisesti muutamasta kymmenestä ampeerista sataan ampeeriin. Tehonkulutus vaihtelee kuvankirkkauden ja kuvassa tapahtuvien muutosten mukaan. Voidaankin olettaa, että videonäyttötaulujen sisältämä tekniikka ja niiden tasasuuntaajat aiheuttavat verkkoon esimerkiksi harmonista säröä.

Videoprojektoreja käytetään kuvatekniikassa erilaisten kuvaprojisoitien toteuttamiseen. Projektoreissa olevat kaasupurkauspolttimot aiheuttavat suurimmalta osin niiden tehonkulutuksen. Kuormana projektori on verrattavissa valotekniikkakappaleessa käsiteltyihin liikkuviin valonheittämiin. Yleisesti esityksissä ei

ole käytössä suuria määriä projektoreita, joten niiden aiheuttama kuorma ei muodostu huomattavaksi tehonkuluttajaksi.

Kuvatekniikan kolmas suuri yksittäinen ryhmä sisältää kuvaamisen käytetyn kamerakaluston, videokuvan prosessointiin käytettävän kaluston sekä mahdollisesti kuvan lähetystekniikan. Suuremmissa taltioinneissa käytetään yleisesti ulkotuotantoyksiköitä, jotka sisältävät edellä mainitun tekniikan ja ovat siirrettäviä kokonaisuuksia. Tällainen yksikkö sisältää oman sähkökeskuksensa, jonka kautta koko järjestelmä toimii. Ulkotuotantoyksikkö vaatii yleisesti vain yhden kolmivaiheisen sähkönsyötön, ja sen tarvitsema virta vaihtelee vaihekohtaisesti muutamasta kymmenestä sataan ampeeriin. Suurin osa tällaisen järjestelmän vaatimasta tehosta kuluu tekniikan jäähdyttämiseen ja/tai lämmittämiseen.

3.7. Esitysten pienjänniteverkon ilmiöt ja häiriöt sekä niiden huomiointi suunnittelussa

Edellisessä kappaleessa käsiteltiin esitystekniikassa käytettyjä laitteita ja niiden muodostamia kokonaisuuksia. Esitystekniikan ollessa suurin yksittäinen tehonkuluttaja tapahtumassa, ja sen laitteiden sisältämän teknologian johdosta se on myös suurin yksittäinen sähköisten häiriöiden aiheuttaja esityksien pienjänniteverkossa. Toki yleisötapahtumien väliaikaista pienjänniteverkkoa kuormittaa myös muu oheistoiminta ruuan valmistuksesta ja juomien tarjoilusta aina pukuhuonetilojen varusteluun saakka.

Tässä työssä on keskitytty mittauksien osalta esitystekniikan aiheuttamiin häiriöihin. Taulukossa 5 on lueteltuna yleisellä tasolla erilaisia sähköverkossa ilmeneviä häiriöitä, niiden aiheuttajia, seurauksia ja mahdollisia parannusehdotuksia häiriöiden vähentämiseksi. Tämän kappaleen lopusta löytyy myös tarkempi taulukko 6, jossa on lueteltuna sähkön laatua parantavia laitteita ja niiden käyttökohteita.

Taulukko 5, Sähköverkossa ilmeneviä häiriöitä [35]

Syy	Aiheuttaja	Seuraus	Parannus ehdotuksia
Transientti-jännite	Kuorman kytkeminen, Epälineaariset kuormat, Hetkelliset viat, Kapasitiiviset kuormat, Ukkonen, Sähköstaattinen lataus, Virtasuojan laukeaminen, Valaistus	Rikkoo elektroniikkapiirejä ja säätäjiä	Suodattimet, Erotusmuuntaja
Jännite-kuoppa	Teholähteen vaihto, Kuorman kytkeminen, Induktiiviset kuormat, Ukkonen, Sähköstaattinen lataus, Katkaisijoiden toimiminen	Rikkoo elektroniikkapiirejä ja säätäjiä	Suodattimet, Erotusmuuntaja
Keskeytys	Huoltotoimet, Onnettomuudet, Sää, Kuormien kytkemiset	Nopeussäädettyjen sähkökäyttöjen toimintahäiriöt ja pysähtymiset, Elektroniikkalaitteiden toimintahäiriöt (tietokoneet, ajastimet, yms.), Valaistuksen muutokset ja purkauslamppujen sammumiset	Energiavarastoratkaisut, UPS
Yli- / Alijännite	Moottorin käynnistyminen, Voimakkaat kuormituksen vaihtelut, Loistehon säädön puute, Huono tehokerroin	Lyhentää moottoreiden ja muuntajien ikää, Muutokset valaistuksessa, Elektroniikkalaitteiden sammuminen	Jännitteen säätäjät, UPS, Suotimet, Loistehon kompensointi
Harmoninen särö	Epäsymmetrinen kuorma, Yliaaltolähteet (TV, tietokoneet, valaistus), Laitteiden aiheuttama signaalihäiriö	Muuntajien ja moottoreiden lämpeneminen, Sulakkeiden ja releiden laukeaminen, Mittarivirheet	Aktiivi- ja passiivisuotimet, Suojaerotetut muuntajat
Välkyntä	Vaihteleva kuormitus, Suuritehoisten laitteiden ja järjestelmien käynnistäminen, Loistehon vaihtelu	Valojen häiritsevä välkyminen	Loistehon kompensointi, Verkon jäykkyys

3.7.1. Johdinjärjestelmän vaikutus sähkön laatuun

Väliaikaisen pienjänniteverkon kaikki sähköasennukset, maadoitukset ja häiriösuojaukset tulisi toteuttaa viisijohdin- eli TN-S -järjestelmällä. Järjestelmän pää-, nousu- ja ryhmäjohtojen suojamaajohtimet sekä mahdolliset potentiaalintasausjohtimet asennetaan säteittäisesti virtasilmukoita välttämällä. Mahdollisiin silmukoihin indusoituu

häiriöitä vuotovirtojen aiheuttamien magneettikenttien ja mahdollisten muiden sähkömagneettisten kenttien välityksellä. Tästä syystä silmukoiden koko tulee pitää mahdollisimman pienenä esimerkiksi samoja kaapelointireittejä käyttäen. [36]

Hyvin suunniteltu ja rakennettu TN-S -järjestelmä on yksinkertaisin keino vähentää sähkö- ja magneettikenttien aiheuttamia häiriöitä verkossa. Teoriassa TN-S -järjestelmässä laitteiden runkojen, suojajohtimen ja maan välinen potentiaaliero on nolla voltia. Käytännössä sähkölaitteiden ja verkon rakenteiden muodostamassa kokonaisuudessa ja sen suojamaajohtimissa kulkee jopa kymmenien ampeereiden suuruisia vuoto- ja harhavirtoja. TN-S -järjestelmän maadoitus on vaikea toteuttaa rakennuksissa ja erityisesti väliaikaisissa pienjänniteverkoissa säteittäisenä, silmukattomana ja vuotovirrattomana. [36]

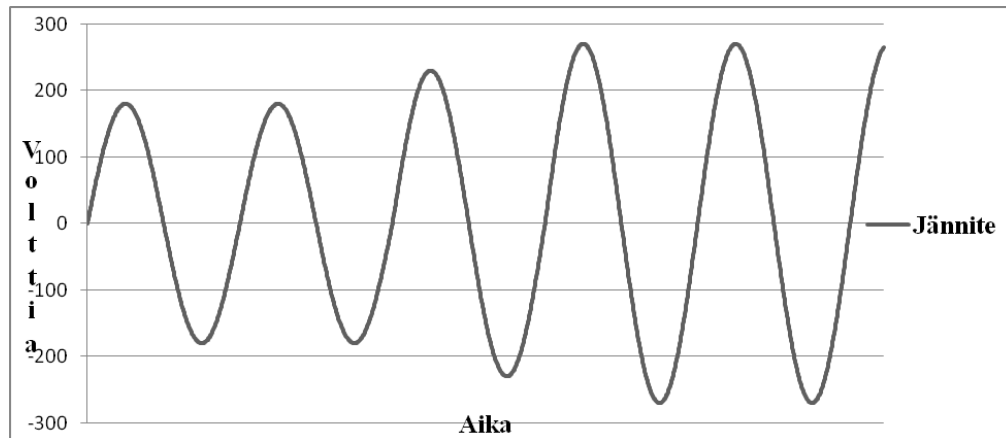
Seuraavilla keinoilla voi helposti pyrkiä parantamaan verkkoa. Jottei potentiaalieroja pääse syntymään verkon ja maan välille, on maadoituselektrodiin ja sen asennukseen kiinnitettävä erityistä huomiota. Silmukoita syntyy helposti, kun suojamaadoitetut laitteet ja sähkökeskukset pääsevät kontaktiin alueen muiden maadoitettujen rakenteiden, esimerkiksi esiintymislavojen kanssa. TN-S -järjestelmässä PE-johtimen potentiaalia nostaa N- ja PE -johtimien virheellinen yhdistäminen muualla kuin yhdessä pisteessä. Tämä voi tapahtua esimerkiksi verkkoon liitetyssä vanhentuneessa, tai väärin kytketyssä keskuksessa tai laitteessa. Silmukoita voi syntyä myös epähuomiossa esimerkiksi esitystekniikkaa toimittavan yrityksen toteuttamien valo-, ääni- ja kuvajärjestelmien sähköverkon kytkennöissä. [36]

3.7.2. Jännitteen aleneman huomioiminen

Valtakunnanverkossa ja näin ollen esimerkiksi muuntajaa tehonlähteenään käyttävässä väliaikaisessa pienjänniteverkossa jännite vaihtelee vuorokauden sisällä esimerkiksi kulutusvaihteluiden ja yösähköön siirtymisen seurauksena. Verkossa olevien laitteiden käynnistysvirrat sekä kuormahuippujen aiheuttamat virrat näkyvät erityisen selvästi pitkäaikaisinakin jännitteen alenemina. Liian suuri jännitteen alenema aiheuttaa esimerkiksi seuraavia ongelmia: riittävän tehon saamiseksi, laitteiden ottama ylivirta kuumentaa komponentteja ja kaapeleita; ylivirtasuojareleet toimivat; herkkimmät elektroniset laitteet ja purkauspolttimot sammuvat; valaistuksessa esiintyy havaittavaa välkyntää; ja laitteiden alijännitevahdit saattavat toimia.

Kaapeleiden suhteellinen jännitteen alenema voidaan laskea periaatteellisesti, kun tunnetaan seuraavat muuttujat: kuormitusvirta, tehokerroin, käytetyn kaapelin impedanssi ja käytetyn kaapelin pituus. [37] Jännitteen aleneman minimoimiseksi on olemassa erilaisia keinoja väliaikaisissa pienjänniteverkoissa. Koko järjestelmän kaapeloinnin poikkipinta-alat tulee mitoittaa riittävän paksuiksi huomioiden käyttötilanteiden luomat alijännitetilanteet. Alijännitteille herkkien laitteiden syötöt ja erilaiset laiteryhmät, esimerkiksi valo- ja äänitekniikka sijoitetaan omiin sähköpääkeskuksiinsa. Tehonsyöttö- ja tehonkulutuspisteiden etäisyys pidetään järkevänä, jotta oikean jännitetason saavuttaminen kaapelointia käyttäen on mahdollista. Jos etäisyys kasvaa pienjänniteverkolle huomattavan suureksi, on moottorigeneraattorin

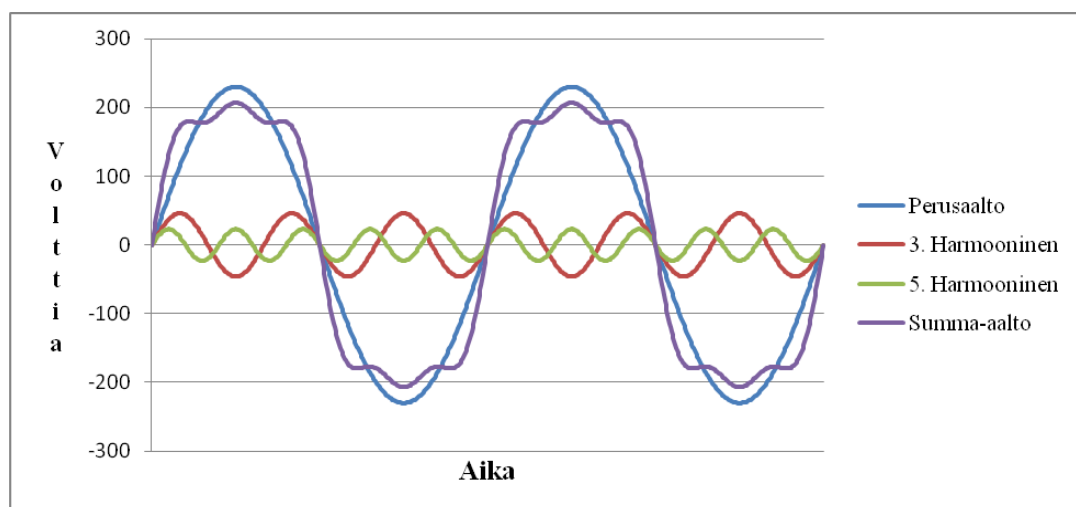
käyttö useissa tilanteissa sähkön laadun ja kustannusten kannalta järkevämpää. Kuva 16 on periaatekuva jännitteen käyrämuodosta ali- ja ylijännitteen tapauksissa.[37]



Kuva 16, Periaatekuva ali- ja ylijännite

3.7.3. Harmoniset yliaallot

Sähköverkossa esiintyviä parittomia 50 Hz:n kerrannaisia nimitetään epälineaariseksi virraksi eli harmonisiksi yliaaltovirroiksi. Niitä on esitetty kuvassa 17. Harmoniset yliaallot synnyttävät verkon rakenteiden impedansseissa harmonisia yliaaltojännitteitä, joiden summaa kutsutaan kokonaisjännitesäröksi (THD). Yliaaltovirtojen lähteenä toimivat elektroniikkalaitteet ja niistä erityisesti hakkuriteholähteet. Harmoniset yliaallot aiheuttavat elektroniikkapiirien rikkoontumisia, mutta myös muita ongelmia: johdonsuojakatkaisijoiden ja muiden suojalaitteiden laukeamisia, kompensointikondensaattoreiden tuhoutumisia, ylimääräisiä teho- sekä jännitehäviöitä ja sitä kautta turhaa lämpenemistä kaapeleissa, muuntajissa, moottoreissa ja generaattoreissa. [38]



Kuva 17, Periaatekuva harmoniset yliaallot

Parillisia yliaaltoja verkossa ei yleensä ilmene kuin pieniä määriä. Niitä aiheuttavat vialliset laitteet, taajuusmuuttajat ja tietyt erikoiskäytöt, esimerkiksi syklokonvertterit. Parittomat ja kolmella jaolliset yliaallot (3, 5, 7, 9, ...) summautuvat nollajohtimeen. Näiden yliaaltojen luomat yliaaltovirratt lisäävät sähköverkon jännite- ja tehohäviöitä, sähkö- ja magneettikenttiä sekä nollajohtimen kuumenemista. Erityisesti yksivaiheiset laitteet, joista merkittävimpinä voidaan tapahtumatekniikassa pitää purkauslamppuvalaisimien kuristimia, audiovahvistimia, ja led-näyttötäuluja, synnyttävät (kolmella jaollisia) parittomia yliaaltoja. Yliaallot summautuvat nollajohtimeen kaikista kolmesta vaiheesta. Nollajohtimessa ei ole sulaketta ja siksi sen mitoittamiseen ja mahdolliseen ylikuumenemiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. [38]

Yksi mahdollisuus vähentää yliaaltoja yksivaiheisten yliaaltolähteiden tapauksessa on käyttää passiivista, kolmannen yliaallon suodatinta. Suodatin sijoitetaan esimerkiksi sarjaan muuntajan kanssa sen tähtipisteeseen kytkettävään PEN-johtimeen. Tapahtumissa tällainen vähintään puolikiinteä ratkaisu on hankala toteuttaa, koska yliaaltojen määrän arvioiminen on hankalaa etukäteen. Toisaalta tällainen suodatin on rakenteeltaan varsin yksinkertainen ja liikuteltavan version käyttämisellä voitaisiin saavuttaa etuja, jos väliaikaisverkkoon tuleva kuorma tiedetään ennalta sisältävän paljon yliaaltoja. Voidaan myös pitää oikeutettuna, että liikuteltavankin yliaaltolähteen omistava taho kompensoi itse paikallisesti aiheuttamansa yliaallot, tai maksaa kompensoinnista aiheutuneet kustannukset. [38]

Kolmivaiheisten laitteiden yliaaltosuodattimet mitoitetaan siten, että halutuilla taajuuksilla käämin ja kondensaattorin sarjaan kytkennän impedanssi on pienin mahdollinen ($X_L = X_C$), ja näin se muodostaa virralle helpoimman reitin eli imupiiriin. Myöskään tätä mahdollisuutta väliaikaisen pienjänniteverkon jännitteen ja virran laadun parantamiseksi ei käytännössä ainakaan vielä käytetä. Tähän ovat syynä verkkojen hankala ennakoarviointi, tapahtumien lyhyt kesto sekä ratkaisusta muodostuvat kustannukset. [38]

Yksi huomioitava seikka passiivisuodattimissa on niiden kyky kompensoida loistehoa. Myös tästä ominaisuudesta on kentällä hyvin vähän kokemuksia. Tapahtumien väliaikaisen pienjänniteverkon tapaisessa, yliaaltojen suhteen vaikeasti ennalta arvioitavissa tapauksissa tehokkaana ratkaisuna yliaaltoihin voitaisiin käyttää aktiivisuodatinta. Se on yliaaltogeneraattori, joka tuottaa halutuilla taajuuksilla verkon yliaaltovirroille vastakkaisia yliaaltovirtoja. Summana on yliaallotonta siniaaltoa. Aktiivisuodattimella voidaan kompensoida myös kolmella jaolliset yliaallot ja näin vähentää esimerkiksi nollajohtimen ja muuntajan kuormitusta. Ongelmaksi aktiivisuodattimen käytön, kuten muidenkin suodattimien käytön lyhyen aikaa käytettävissä verkoissa, tekee niiden korkea hinta ja nopeasti muuttuvan kuorman aiheuttamat haasteet. Passiivisuodatin on aktiivisuodatinta edullisempi, mutta silti verkon muiden komponenttien ylimitoittaminen yliaallot kestäviksi tulee väliaikaisverkkojen tapauksissa edullisemmaksi. Myös moottorigeneraattori voi paikallisesti vähentää verkon yliaaltopitoisuutta toimimalla säätöjensä rajoissa

eräänlaisena suodattimena. Lähtökohtaisesti tapahtumien väliaikaisverkkoon asennettavilta, yliaaltolähteen sisältäviltä laitteilta voidaan laitestandardien rajoissa vaatia laitekohtaista yliaaltosuodatusta. Tällöin verkkoon summautuvien yliaaltojen määrä ei ole niin ongelmallinen. [38]

3.7.4. Loisteho

Osa sähkölaitteista tarvitsee toimiakseen normaalin pätötehon ohella myös loistehoa. Kyseisissä laitteissa varsinaisen työn tekee pätöteho ja loistehoa tarvitaan magneettikentän luomiseen. Esitystekniikkaa mietittäessä tällaisia laitteita ovat purkausvalaisimet ja suuria muuntajia sisältävät himmentimet sekä vanhemmat audiovahvistimet. Loistehon tarve lisää verkossa olevien komponenttien virtarasituksia, aiheuttaen näin esimerkiksi komponenttien lämpenemistä.

Loistehon kompensointi on järkevää suorittaa pääasiallisesti laitekohtaisesti, joka on väliaikaisissa pienjänniteverkoissa yksinkertaisin ratkaisu. Toinen mahdollisuus on suorittaa kompensointi keskitettynä, joko ryhmä tai pääkeskustasolla. Loistehon kompensointiin soveltuvia laitteita on lueteltu kappaleessa 3.7.7. Loistehoa tuottavat yleisesti samat laitteet, jotka tuottavat yliaaltoja. Siksi myös niiden kompensoiminen ja kompensattoreiden sijoittuminen verkossa on hyvin samankaltaista kuin yliaaltojen suodattaminen. Näitä kahta ilmiötä, niiden aiheuttamia häiriöitä sekä niiden vaikutuksien rajoittamista kannattaakin käsitellä väliaikaisten pienjänniteverkkojen yhteydessä yhtenäisenä kokonaisuutena. [39]

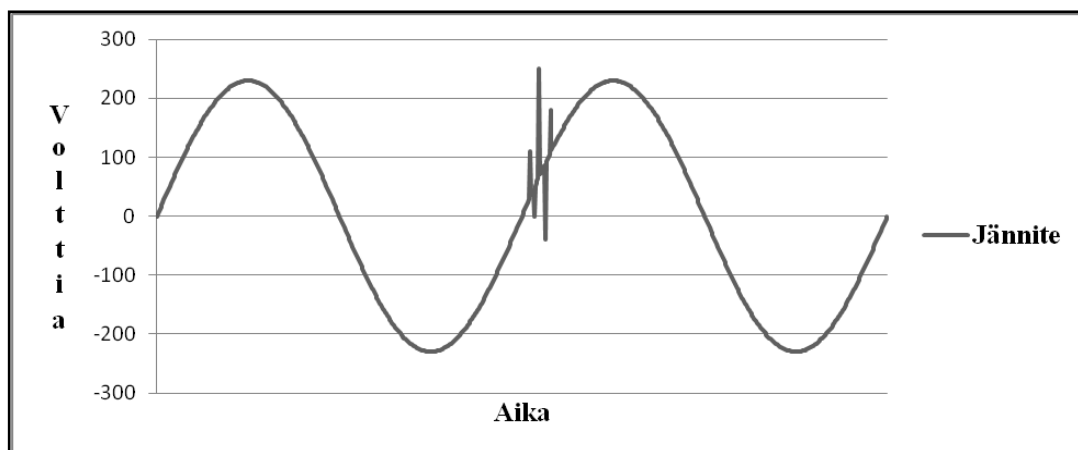
3.7.5. Vinokuormitus

Esityksien väliaikaisen verkon kuormituksessa syntyy tilanteita, joissa vaiheiden välinen kuormitus on syöttökohtaisesti voimakkaasti vinoutunut. Tällöin nollajohtimessa kulkee kuormitusvirran erokomponentti. Kiinteässä verkossa suosituksena vaiheitten väliselle virran poikkeamalle pidetään kymmenen prosenttia vaihevirtojen keskiarvosta. Väliaikaisessa verkossa tällaiseen tarkkuuteen pääseminen on usein hyvin vaikeaa esitystekniikan muodostaman kuorman johdosta. Ääni-, kuva- ja valaistusjärjestelmissä vaiheidenvälinen virrankulutus riippuu järjestelmän kytkennän lisäksi siitä, miten kyseistä järjestelmää ajetaan esimerkiksi musiikin tahdissa: konventionaalisilla valaisimilla tehtävät iskut voivat aiheuttaa suuria vinokuormituksia himmentimien syötoissä. Kuormitusta suunniteltaessa on alusta asti otettava huomioon tehonkulutuksen jakautuminen tasaisesti vaiheiden välille. Vinokuormia voidaan tasoittaa siirtämällä yksivaiheisia laitteita eri vaiheille. Käytännössä L1-vaihe kuormittuu lähtökohtaisesti eniten, koska sen sulakkeet ovat ensimmäisinä ja niihin laitteet myös ensisijaisesti kytketään. Kuormien tasaaminen on tärkeää, jotta N-johtimen virta ja jännite saadaan mahdollisimman lähelle nollaa. Näin mahdollisesti aiheutuvat häiriöt ja johtimien kuormitukset saadaan minimoitua. Vaihekuormien täydelliseen tasapainoon ei kuitenkaan esityksien väliaikaisen pienjänniteverkon tapauksessa ole syytä pyrkiä. Riittävää on, että järjestelmää suunniteltaessa tämä on huomioitu verkon

rakenteessa ja siihen kytketyissä kuormissa. Tapahtumien väliaikaisessa pienjänniteverkossa on kuorman luonteesta johtuen syytä varautua yliaaltoihin ja vaiheiden väliseen vinokuormitukseen. Näiden takia nollajohdinten poikkipinta-alat on syytä mitoittaa koko järjestelmän osalta yhtä suuriksi kuin vaihejohtimien poikkipinta-alat ovat. [40]

3.7.6. Transienttiylijännite

Transienttiylijännite on nopea muutosilmiö sähköverkossa. Sen nousuaika on nopea ja jännite vaimenee lopuksi nopeasti. Kuva 18 on periaatekuva transienttiylijännitteen muodostamasta piikistä jännitteen käyrämuodossa. Transienttiylijännite aiheuttaa virtapiikin ja se voi esiintyä vaiheiden, tai vaiheen ja nollajohtimen välillä. Transienttiylijännitteet syntyvät yleensä suuritehoisten sähkölaitteiden päälle- ja poiskytkennöissä, sulakkeiden ja johdonsuojakatkaisijoiden toiminnoista, salamaniskuista ja staattisen sähkön purkauksissa. Ongelmana näissä transienttiylijännitteissä ovat laitteita rikkovat läpilyönnit sähkölaitteiden komponenteissa ja eristeissä. Ylijännitesuojaus ei ole pakollinen, eikä sitä käytetä yleisesti pienjänniteverkossa, mutta suojaus on syytä huomioida verkossa käytettävissä sähkölaitteissa itsessään. Niiden rakenteen tulisi olla ylijännitekestoinen. [40]



Kuva 18, Periaatekuva transienttiylijännite

3.7.7. Sähkön laadun hallintaan soveltuvia laitteita

Väliaikaisissa pienjänniteverkoissa sähkön laatuun parantavasti vaikuttavia laitteita ei yleisesti ole käytössä. Yleisesti laadun hallinnan laitteita käytetään keskijänniteverkossa ja siirtoverkoissa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, ettei joihinkin pienjänniteverkkoihin suuritehoisten kuormien tapauksessa kannattaisi harkita sähköisten häiriöiden hallintaan soveltuvan laitteen hankintaa.

Hankita jää kyseisen laitteen omistajan tehtäväksi, mutta tapauksissa joissa kuorman verkkoon aiheuttamat häiriöt ovat huomattavia, verkonhaltija voi sitä vaatia. Nykyään laitekohtaista kompensointia vaaditaan uusilta markkinoille tuotavilta laitteilta, mutta se ei takaa sähköverkon häiriöttömyyttä. Vaikka yksittäisen laitteen aiheuttama sähköinen

häiriö ei olisikaan huomattava, voi suurien laitemäärien ollessa yhteydessä verkkoon summautuva häiriö olla hyvinkin häiritsevä.

Varsinkin esitystekniikkalaitteiden kiinteissä asennuksissa, esimerkiksi teattereissa, voidaan sähkönlaatua parantavilla laitteilla vähentää pienjänniteverkon sähköisiä häiriöitä huomattavasti. Monissa kiinteissä asennuksissa näihin asioihin kannattaisikin kiinnittää nykyistä enemmän huomiota, jolloin monilta teknisiltä ongelmilta voitaisiin välttyä. Seuraavassa taulukossa 6 on luetteloitu eräitä sähkönlaadun hallintaan tarkoitettuja laitteita.

Taulukko 6, Sähkönlaadun hallintaan tarkoitettuja laitteita [41]

Laite	Ylijännitesuoja	Akut	Tahtikompensaattori	Sarjakondensaattori	Dynaaminen jänniteensäätäjä	Tehokerrointa säätävä kondensaattori	Magneettinen energiavarasto	Staattinen käämikytkin	Elektroninen vaihtokytkin	Elektroninen katkaisija	Staattinen loistehon kompensaattori	Tyristorikytketty kondensaattori	UPS	Aktiivisuodin
Jännitekuopat		X			X		X	X	X		X		X	
Keskeytykset		X					X		X	X			X	
Transientit	X	X	X		X		X					X		X
Ylijännite		X	X			X	X	X			X		X	
Alijännite		X	X	X		X	X	X			X	X	X	
Harmoniset yliaallot		X									X			X
Välkynä		X	X	X	X		X				X			

3.8. Sähköistys suunnitelman sisältö

Sähköistysä toteuttavilla yrityksillä on usein käytössään oma mallinsa työmaakohtaisen sähköistys suunnitelman tekemiseksi. Sähköistys suunnitelman tarkoituksena on varmistaa verkon oikeanlainen ja turvallinen rakenne. Hyvällä dokumentaatiolla vähennetään väärinkäsityksien mahdollisuutta projektin eri osapuolten välillä ja työn toteuttavien henkilöiden keskuudessa. Näin myös varmistetaan työntekijöiden turvallinen ja tehokas työskentely. Esityksien väliaikaisen pienjänniteverkon tapauksessa sähköistys suunnitelman rakennetta ja sen sisältöä on käyty läpi seuraavassa. [42]

- Tapahtuma-alueen kartta

Sähköverkon sijoittumiseen tapahtuma-alueelle vaikuttavat monet tekijät. Maaston muoto, ympäröivät rakennelmat, tapahtuman yleiset järjestelyt sekä ihmisten ja ajoneuvojen liikenne alueella on otettava huomioon verkkoa suunniteltaessa. Tarkka kartta tapahtuma-alueesta ja sinne sijoittuvista rakenteista auttaa huomattavasti ennakkosuunnittelua. Näin nopeutetaan myös varsinaista rakennustyötä. [42]

- Verkon sijoituskartta

Verkon sijoituskartassa esitetään verkon sellaiset turvallisuuden ja käytön kannalta olennaiset sijoitustietojen yksityiskohdat, joita ei voida kaapelireittikartassa esittää. Tällaisia ovat esimerkiksi ilmajohtojen korkeus, kaapeleiden suojaus kulkuväylillä sekä työmaakeskusten ja muiden sähkölaitteiden suojaus. Sijoituskartan tarkoituksena on helpottaa pienjänniteverkkoa rakentavien henkilöiden työtä ja varmistaa hyvällä ennakkosuunnittelulla verkon turvallisuus. [42]

- Sähköpääkaavio ja maadoituskaavio

Sähköpääkaaviossa kuvataan tapahtuma-alueen sähköverkko ja sen suojalaitteet. Se toimii suuntaa antavana ohjeistuksena verkon rakentajille ja siitä on helppo tarkastaa sekä näyttää verkkoon liittyviä rakenteellisia asioita. Maadoituskaaviossa kuvailtavalla tapahtuma-alueen maadoituksella mahdollistetaan asennusten ja alueella oleskelevien ihmisten turvallisuus. Tämän vuoksi tapahtuma-alueen maadoitusjärjestelmän rakenteen tulee täyttää pienjänniteasennuksen maadoitusta koskevat perusvaatimukset. [42]

- Laiteluettelo

Laiteluettelossa annetaan tarvittavat tiedot tapahtuma-alueella käytettävistä koneista ja laitteista liitännätietoineen. Sen pohjalta on helppo laskea alueella tarvittava sähköteho ja suunnitella verkon rakennetta. Luettelon pohjalta pystytään myös kartoittamaan mahdollisia ongelmakohtia verkossa ja osataan varautua laitteiden oikeilla liittimillä. [42]

- Käyttöaikataulu

Käyttöaikatauluun kootaan verkon rakentamiseen ja käyttämiseen liittyvät ajankohdat. Aikataulu ohjaa verkon rakentamisen ja purkamisen rytmittämistä, sekä esityksenaikaista toimintaa. Aikatauluun on syytä kirjata myös mahdolliset verkon huollosta tai laitteiden sammuttamisesta johtuvat käyttökatkokset sähköverkossa. [42]

4. MITTAUSTEN SUORITTAMINEN

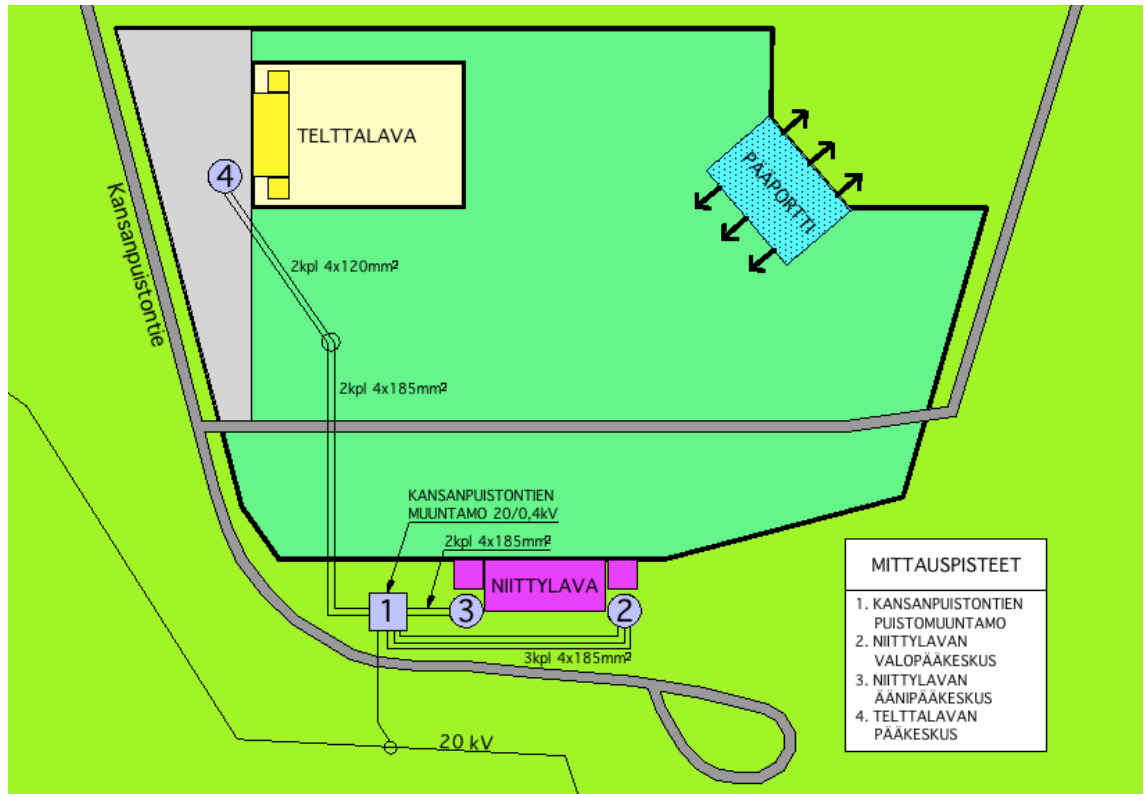
Esityksien väliaikaisissa pienjänniteverkoissa esiintyviä sähköisiä ilmiöitä mitataan tähän tarkoitukseen suunnitelluilla analysaattoreilla. Analysaattoreita on saatavilla useilta eri valmistajilta, monia eri malleja. Osa analysaattoreista on tarkoitettu väliaikaisten mittausten suorittamiseen ja toiset on tarkoitettu muuntamo- tai sähkökeskuskohtaisiin kiinteisiin asennuksiin. Nämä kiinteästi asennettavat mallit ovat usein kaukoluettavia. Tämän työn mittauksissa on käytetty siirrettäviä sekä kiinteästi asennettavia malleja. Mittareita on ollut asennettuina samoihin mittauspisteisiin. Näin on ollut tarkoituksena varmistaa saatujen mittaustuloksien oikeellisuus ja kerätä sähköverkosta monipuolisesti tietoa koko mittaustapahtuman ajalta. Mittauksissa noudatettiin standardissa SFS 6002 määriteltyjä sähkötyöturvallisuusmääräyksiä, ja kaikki mittauksissa käytetyt mittarit täyttävät standardin EN 61010 asettamat vaatimukset. [48] Mittaussuunnitelma, jonka pohjalta mittaukset on suoritettu, löytyy liitteenä tämän työn lopusta liitteestä 3.

4.1. Mittausympäristö

Tämän työn mittaukset suoritettiin kesällä 2009 Ruissalon kansanpuistossa Turussa, heinäkuun ensimmäisenä viikonloppuna Vantaan Festivaalit Oy:n järjestämässä Ruisrockissa. Suomen vanhimpiin ja suurimpiin musiikkitapahtumiin lukeutuva festivaali on puitteiltaan hyvä kohde suorittaa esityksien väliaikaiseen pienjänniteverkkoon kohdistuvia mittauksia. Tapahtuman suuren koon vuoksi myös valo-, ääni, ja kuvatekniikka ovat kokoluokaltaan suuria ja näin ollen myös tehonkulutukseltaan mittauksiin soveltuvaa. Ruisrock kestää kolme päivää, ja tänä aikana se keräsi vuonna 2009 yli 90 000 kävijää.

Ruisrock-tapahtumassa käytetään yhtenä alueen tehonlähteenä Kansanpuistontien muuntamoa. Vuoden 2009 tapahtumassa kyseiseltä muuntamolta sähköistettiin päälavana toimineen Niittylavan esiintymistekniikka, Telttalavan esiintymistekniikkaa, sekä molempien esiintymislavojen läheisyydessä ollutta muuta tapahtumaan liittyvää tekniikkaa. Suurin osa muuntamon kuormituksesta on esiintymistekniikan aiheuttamaa. Tapahtuma-alueelle asennettu, tapahtuman järjestäjän hankkima kiinteä maakaapelointi, itse muuntamo ja tapahtuma-alueelle tuodut sähkökeskukset ovat käytössä vain tapahtuman ajan. Muina aikoina muuntamo on jännitteettömänä ja kaapelointi suojattuna, sekä kaivettuna maahan. Tällainen valmistautuminen pienjänniteverkon osalta tapahtumaa silmälläpitäen on harvinaista Suomessa. Yleensä koko pienjänniteverkko rakennetaan tapahtumaa varten ja puretaan sen jälkeen kokonaisuudessaan pois. Tapahtuman sähköistämisessä käytettiin myös toista

puistomuuntamoa, joka on kytkettynä samalle, Kansanpuistontietäkin syöttävälle 20 kV ilmajohdolle. Näiden muuntamoiden lisäksi alueen sähköistämiseen käytettiin myös useampaa generaattoria. Kuvassa 19 on näkyvissä Kansanpuistontien muuntamon syöttämät pisteet ja niiden kaapelointi. Kuva on pelkistetty kuva sähköverkosta, jossa mittaukset suoritettiin ja siinä ei ole näkyvissä koko Ruisrock-tapahtuman aluetta ja sillä sijaitsevia esiintymislavoja sekä ”toimipisteitä”.



Kuva 19, Verkkokuva: muuntamo, kaapelointi ja keskuksat

4.1.1. Kansanpuistontien puistomuuntamo –mittauspiste

Kansanpuistontien puistomuuntamo on toiminnassa vain Ruisrock-tapahtuman aikana ja sillä syötetään ainoastaan tapahtuman omaa väliaikaista pienjänniteverkkoa. Muuntamo on jännitteiltään 20/0,4 kV ja näennäisteholtaan 800 kVA. Kyseisen muuntamon 400 V kiskostolta syötetään $4 \times 185 \text{ mm}^2$ alumiinimaakaapelointia. Tämän kaapeloinnin rinnalla kulkee erillinen kuparinen suojamaajohdin muuntamon ja keskuksien välillä. Näin vaatimus TN-S –järjestelmästä saadaan toteutumaan. Kaapeloinnilla syötetään tapahtumassa käytettyjä keskuksia, joilla Niitty- ja Telttalavan esiintymistekniikan tarvitsema teho on syötetty. Alueen maakaapelointi on toteutettu käyttäen $4 \times 185 \text{ mm}^2$ alumiinimaakaapelointia, poikkeuksena Telttalavan kaapelointi, joka muuttuu puolivälissä kahdesta $4 \times 185 \text{ mm}^2$ kaapelista kahdeksi $4 \times 120 \text{ mm}^2$ kaapeliksi.

Muuntamon 400 V kiskostoon oli kytkettynä WIMO 6CP10 -mittari, joka keräsi tietoa koko tapahtuman ajan. Kyseisen mittarin pääasiallinen tarkoitus oli kartoittaa

muuntamoon kohdistuvat virran ja tehon maksimikuormitukset, sekä mahdolliset jännitteessä tapahtuvat huomattavat muutokset.

Puistomuuntamon syöttämänä kuormana olivat Niittylavan valo- ja äänikeskukset, Telttalavan esitystekniikkaa ja muita palveluita syöttänyt keskus sekä kaksi, erilaisten myyntipisteiden sähkönsyöttöön tarkoitettua keskusta.

4.1.2. Niittylavan valopääkeskus -mittauspiste

Niittylavan valaistustekniikan tarpeita syöttäneen 630 A pääkeskuksen kuormana oli koko tapahtuman päälavan valaistustekniikkaa syöttänyt järjestelmä. Keskukselta eteenpäin kaapelointi ja muu sähköjärjestelmä olivat Niittylavan esiintymistekniikan toteuttaneen yrityksen omaa kalustoa. Niittylavan valopääkeskus sijaitsee noin 50 metrin päässä Kansanpuistontien muuntamosta, joten sitä syöttävä maakaapelointi on lyhyt.

Keskukseen oli kytketty WIMO 6CP10 -mittari, joka mittasi keskusta koko tapahtuman ajan. WIMO:n tarkoituksena oli kerätä tietoa keskuksen virran- ja tehonkuormitushuipuista. Toisena mittalaitteena valopääkeskukseen oli kytketty Fluke:n 435 sähkönlaatuanalysointilaite, jolla suoritettiin tarkempia mittauksia.

Valopääkeskuksen kuorma muodostui noin 60 liikkuvasta valosta, 70 himmenninkanavasta, neljästä seurantaheittimestä, noin kymmenestä stroboskooppihalosta sekä muista valojärjestelmän osista, esimerkiksi valopöydistä ja savukoneista. Keskuksen syöttö muuntamolta on toteutettu kolmella 4 x 185 mm² kaapeloilla.

4.1.3. Niittylavan äänipääkeskus –mittauspiste

Niittylavan äänitekniikan tarpeisiin tarkoitettun 400:n ampeeriin pääkeskuksen kuormana olivat päälavan äänentoistojärjestelmä, johon kuuluivat yleisölle suunnattu äänentoisto järjestelmän vahvistimista, monitorikuuntelu järjestelmän vahvistimista sekä orkestereiden backlinestä ja äänisignaalin käsittelemiseen käytettävistä laitteista, led-teknologialla toteutettu noin 60m² videonäyttö, videoulkotuotantoyksikkö kamerakalustoineen sekä radion ulkotuotantoyksikkö. Keskus sijaitsee noin 20 metrin päässä Kansanpuistontien muuntamolta, joten sitä muuntamolta syöttävä kaapelointi on hyvin lyhyt.

Keskukseen oli kytkettynä WIMO 6CP10 -mittari, jolla mitattiin kyseistä keskusta koko tapahtuman ajan. Sen tarkoituksena oli tallentaa keskukseen kohdistuvat virran ja tehon maksimikuormitukset Toisena mittalaitteena keskuksessa käytettiin Dranetz Power Platform 4300 -sähkönlaatuanalysointilaite, jolla suoritettiin tiettyjä ennalta suunniteltuja mittauksia sähköverkossa tapahtuvista ilmiöistä ennalta valittujen esiintyjien aikana. Keskuksen syöttö muuntamolta on toteutettu kahdella 4 x 185 mm² kaapelilla.

4.1.4. Telttalavan pääkeskus –mittauspiste

Telttalavan 400:n ampeerin pääkeskus syötti koko kyseisen lavan tekniikkaa. Keskus sijaitsee noin 200 metrin päässä Kansanpuistontien muuntamosta ja sitä syötettiin kaksinkertaisella $4 \times 185\text{mm}^2$ alumiinimaakaapeloinnilla. Keskukseen oli kytkettyä WIMO 6CP10 mittari, joka mittasi keskusta koko tapahtuman ajan. Sekä Fluke 435 sähkönlaatu analysaattori, jolla suoritettiin tiettyjä ennalta suunniteltuja mittauksia.

Kuorman osalta kyseessä oli siis kahteen edelliseen mittapisteeseen verrattuna kauempana oleva yhteiskuorma. Kuorman muodostivat lavan valotekniikka, äänitekniikka, led-tekniikalla toteutettu noin 35m^2 näyttö, kamerakalusto sekä lavan läheisyydessä olleiden palveluiden, kuten ravintolan laitteiden tarvitsema teho. Esitystekniikan eri osa-alueiden sisältämät laitteet olivat samankaltaisia kuin Niittylavan tapauksessa, niiden määrä oli vain pienempi. Keskukseen syöttö muuntamolta on toteutettu kahdella $4 \times 185 \text{ mm}^2$ kaapelilla, jotka muuttuvat noin puolivälissä kahdeksi $4 \times 120 \text{ mm}^2$ kaapeliksi.

4.2. Mittaamiseen käytetyt analysaattorit

Työtä varten suoritettuihin mittauksiin käytettiin sähköverkon pienjännitepuolen sähkönlaatu- ja häiriöanalysointilaitteita. Analysointilaitteet keräävät tietoa asetetulla näytteenottoajanjaksolla seuraavista mittapisteesistä: jännitettä mitataan kaikista viidestä johtimesta (L1, L2, L3, N, PE) ja virtaa mitataan vaihejohtimista sekä nollajohtimesta (L1, L2, L3, N). Näiden mitattujen arvojen avulla mittarit muodostavat tuloksia jännitteeseen, virtaan ja tehonkulutukseen liittyvistä suureista sekä rekisteröivät verkossa tapahtuneita ilmiöitä ja häiriöitä asetteluidensa mukaisesti. Jokaisen analysointilaitteen mitaamat tulokset voidaan siirtää laitteesta tietokoneelle. Näin tuloksia voidaan tarkastella kyseisen analysointilaitteen tulosten tutkimiseen tarkoitettua tietokoneohjelmalla. Ohjelmalla mittauskohtaiset tulokset voidaan purkaa aikatasossa tarkasteltaviksi, mikä helpottaa niiden analysointia ja suureissa tapahtuneiden muutosten havaitsemista ja paikallistamista suuresti. Mittauksissa käytetyt analysointilaitteet on esitelty seuraavissa kappaleissa.

4.2.1. Analysointilaitte Dranetz Power Platform 4300

Power Platform 4300 on Dranetz BMI -yhtiön valmistama, kolmevaiheisen sähköverkon mittaukseen ja analysointiin tarkoitettu analysointilaitte. Analysointilaitteessa on neljä erillistä kanavaa jännitteille ja neljä erillistä virran mittaukseen tarkoitettua kanavaa. Laitteen testaustarkkuus on IEC 61000-4-30 -standardin mukainen. Mittarin 32MB -muistikortille saa tallennettua asetuksista riippuen noin tunnin mittaisen, viiden sekunnin näytteenottovälillä suoritettavan kolmivaihemittauksen. Mittauksissa kertyneet tiedot voidaan siirtää muistikortilta tietokoneelle. Näissä mittauksissa Dranetz-tuloksien analysointiin käytettiin valmistajan omaa Dranetz; Dran-View 6 ohjelmistoa. [49]

4.2.2. Analysaattori Fluke 435

Fluken valmistama 435-analysaattori on kehittyneeseen tiedonkeruuseen suunniteltu, luokan A mukainen analysaattori. Analysaattorissa on neljä erillistä kanavaa jännitteille ja neljä erillistä virran mittaamiseen tarkoitettua kanavaa. Mittarin asettelu mahdollistaa 0,5 sekunnista ylöspäin olevat näytteenottovälit, joka on näissä mittauksissa käytetyistä analysaattoreista lyhyin mittausjakson aikaväli. Laitteen testaustarkkuus on IEC 61000-4-30 -standardin mukainen. Laitteen sisäiseen muistiin mahtuvan mittauksen pituus riippuu näytteenottojaksosta ja asetuksista: esimerkiksi näissä mittauksissa käytetyillä asetteluilla muistiin mahtui noin kaksi tuntia sekunnin näytteenottovälillä tallennettua dataa. Mitatut tiedot voidaan siirtää tietokoneelle tarkoitukseen soveltuvaa kaapelia käyttäen. Tämän työn mittauksissa Fluke-mittaustuloksien analysointiin käytetty ohjelma oli valmistajan oma Fluke; Power Log 2.8. [50]

4.2.3. Analysaattori WIMO 6CP10

WIMO 6CP10 Mittaus- ja valvontayksikkö on Vaasalaisen Vamp Oy:n valmistama, pääasiallisesti kiinteisiin asennuksiin tarkoitettu laite, joka on tarkoitettu erityisesti muuntamoiden pienjännitepuolen mittaamiseen. Laite pystyy mittaamaan suuren määrän erilaisia arvoja verkon sähköisistä suureista aina muuntamon öljyn lämpötilaan. Tämän työn mittauksissa WIMO-mittaria käytettiin mittauspistekohtaisten jännitteen, virran sekä tehon maksimi- ja minimiarvojen taltiointiin. Saatujen mittaustuloksien analysointiin käytettiin Vamp Oy:n omaa VAMPSET ohjelmistoa (Version: 2.1.36 (10.7.2008)). [51]

4.3. Mittaaminen ja toimintatavat

Mittauksia suoritettiin kappaleessa 4.1 esitellyissä mittauspisteissä, heinäkuun kolmannen ja kuudennen päivän välisenä aikana 2009. WIMO-analysaattorit keräsivät tietoa koko tapahtuman ajan omissa mittapisteissään. Fluke ja Dranetz -analysaattorit taas mittasivat lyhyempiä, kestoltaan 15 minuutista kymmeneen tuntiin olevia ajanjaksoja. Mittauksissa analysaattoreissa käytettiin näytteenottovälinä yhtä ja viittä sekuntia. Näiden mittausten tarkoituksena oli selvittää lyhytkestoisia ilmiöitä sähkön laadussa ja tallentaa verkossa mahdollisesti tapahtuvia häiriöitä. Kyseiset mittaukset pyrittiin suorittamaan verkon maksimikuormitustilanteissa. Tällaisia tilanteita ovat käytännössä yhtyeiden esiintymisten ajankohdat, jolloin kuva-, valo- ja äänitekniikan ottamat kuormat ovat suurimmillaan. Ruisrockissa suoritettut mittaukset on luetteloitu tarkemmin liitteessä 4.

Mittauksissa kertynyttä dataa purettiin Fluke ja Dranetz -analysaattoreista jo tapahtuman aikana, koska niiden sisältämä muisti ei riitä tallentamaan kaikkia tapahtuman aikana suoritettuja mittauksia lyhyiden näytteenottoaajuuksien vuoksi. Analysaattorit purettiin mittauspisteistä tapahtuman loputtua ja niiden sisältämä data siirrettiin tietokoneille. Mittauksissa saatuja tuloksia on käsitelty tarkemmin kappaleessa 5.

4.4. Referenssimittaukset

Heinäkuussa 2009 suoritettujen mittausten tuloksien vertailua varten suoritettiin referenssimittauksia joulukuun 2009 alkupuolella Helsingin Hartwall Areenalla Backstreet Boys -yhtyeen konsertissa. Siellä mitattavana kohteena oli konsertissa käytetty valojärjestelmä. Mittausympäristönä Hartwall Areena on samankaltainen kuin Ruisrock. Esitystekniikkaa syöttävä muuntamo on alle 50 metrin päässä tehon kulutuksesta. Näin siellä mitatut tulokset ovatkin syöttönsä puolesta vertailukelpoisia Niittylavan valopäikeskuksen kanssa. Varsinaisessa valaistusjärjestelmässä olevat laitteet ja niiden määrät eivät ole suoraan toisiaan vastaavia, mutta järjestelmien laitteet olivat toistensa kaltaisia. Näiden referenssimittauksien avulla pyrittiin helpottamaan yleisemmän käsityksen muodostamista valaistustekniikasta kuormana ja varmistamaan Ruisrockissa saatujen tuloksien oikeellisuus. Hartwall Areenalla mittaukset suoritettiin valaistusjärjestelmän omasta 400:n ampeerin pääkeskuksesta Fluke 435 -sähkönlaatuanalysaattorin avulla käyttäen näytteenottoajanjaksona viittä sekuntia.

5. MITTAUSTULOKSET

Heinäkuussa 2009 Ruisrock-tapahtuman mittauksissa saatiin paljon materiaalia, jonka pohjalta voitiin muodostaa yleiskuva esitystekniikasta pienjänniteverkkoa kuormittavana elementtinä. Mittaustulokset on pyritty esittämään mahdollisimman havainnollisesti, jotta lukija saa selkeän kuvan esityksien pienjänniteverkon sähkönlaadusta ja verkossa esiintyvistä häiriöistä. Referenssimittauksissa saatuja tuloksia ei käydä tässä kappaleessa läpi, mutta niitä on käytetty hyödyksi tuloksia ja niiden oikeellisuutta tutkittaessa. Mittaustuloksia kertyi paljon ja parhaiten kuormituksia ja sähköisiä ilmiöitä kuvaavia on käytetty esimerkkituloksina tässä kappaleessa.

5.1. Kansanpuistontien puistomuuntamon tulokset

Kansanpuistontien puistomuuntamoa mitanneen WIMO:n tuloksien pohjalta saadaan yleisellä tasolla tietoa siitä, paljonko tapahtuma on kuormittanut Kansanpuistontien muuntamon syöttämää verkkoa maksimissaan. Koska muuntamosta ei näissä mittauksista ole saatavilla aikajanaan kiinnitettyjä tuloksia, on järkevää keskittyä WIMO-tuloksissa vaihekohtaisten virtojen ja kokonaistehojen maksimiarvoihin.

Taulukko 7, Kansanpuistontien muuntamon virta ja tehomaksimit

Mittapiste	IL_1 _{maksimi}	IL_2 _{maksimi}	IL_3 _{maksimi}	Pätöteho maksimi	Loisteho maksimi	Näennäisteho maksimi
Kansanpuistontie	728 A	688 A	708 A	482 kW	151 kvar	494 kVA

Kun tuloksia tarkastellaan syöttävältä muuntajalta eteenpäin verkossa, on ne helpompi hahmottaa edellisessä kappaleessa olevaa tapahtuma-alueen verkkokarttaa hyödyntäen. Kartasta voi tarkastaa mittareiden sijoittelun tapahtuma-alueella. Tapahtuman yhteiskulutusta mietittäessä on myös huomioitava, että tietyt osat tapahtuma-alueesta sähköistettiin generaattoreilla.

Kansanpuistontien muuntamo on nimellisteholtaan 800 kVA, joten kuormitushuiput eivät ole kyseiselle muuntajalle korkeita. Tapahtumaa ja sen esiintymislavoja on kuitenkin aikataulutettu niin, että lavojen tekniikan samanaikaista käyttöä pyritään välttämään.

Vaihevirtojen huippukulutusten väliset erot ovat maksimissaan alle 10 % suuruusluokkaa. Ottaen huomioon kuormien vaiheiden väliset mahdolliset vaihtelut, on tulos hyvä. Näitä tuloksia analysoitaessa on kuitenkin hyvä muistaa, että tuloksia ei ole kiinnitetty aikaan ja maksimivirtojen oletetaan olevan samanaikaisia. Verkon rakenteen

hyvä ennakkosuunnittelu on tärkeää, jotta vaiheiden väliset erot pysyvät pieninä. Näin vältetään suurilta vinokuormilta ja niiden aiheuttamilta ongelmilta.

5.2. Niittylavan tulokset

Niittylavalla mitattavia kohteita olivat valaistuksen ja äänen pääkeskukset. Pääkeskusten syöttämien kuormien muodostuminen erilaisista laitteista on käyty läpi periaatteellisella tasolla mittauspisteistä kertovissa kappaleissa. Tuloksista on pyritty esittämään molempien keskuksien osalta niiden normaalia kuormitusta parhaiten kuvaavia tuloksia, sekä esimerkkituloksia järjestelmien huippukuormituksista.

5.2.1. Niittylavan valopääkeskus (630A)

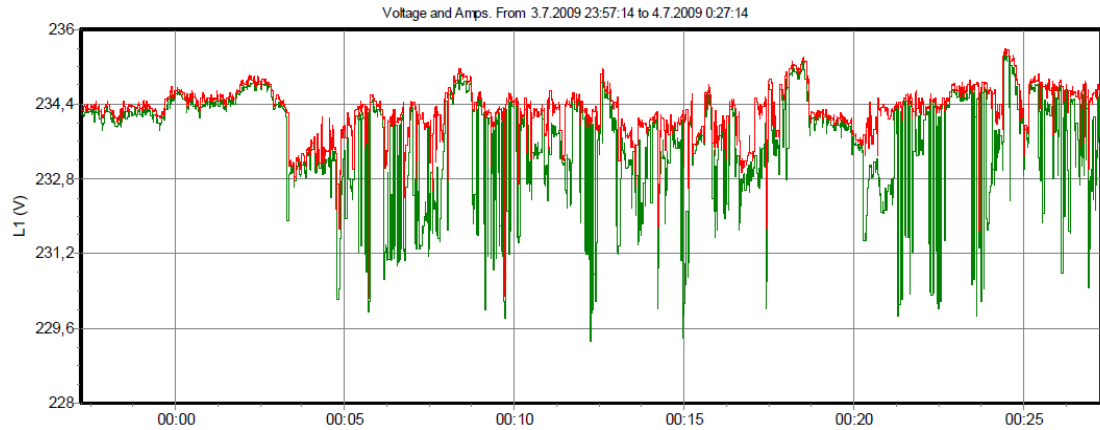
Niittylavan valopääkeskuksen kuorma muodostui lavan valotekniikasta. Aloitetaan mittaustuloksien läpikäyminen järjestelmän kokonaiskulutuksesta kertovista WIMO-tuloksista.

Taulukko 8, Niittylavan valokeskuksen virta ja tehomaksimit

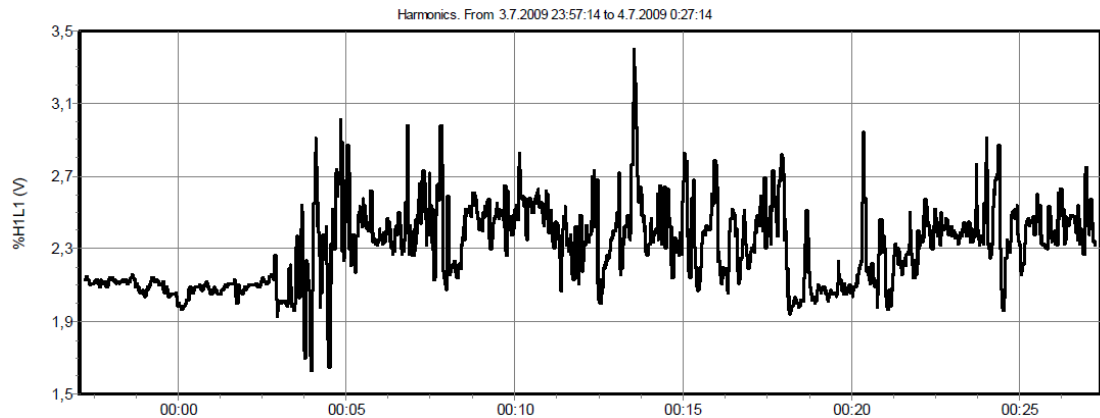
Mittapiste	IL_1_maksimi	IL_2_maksimi	IL_3_maksimi	Pätoteho maksimi	Loisteho maksimi	Näennäisteho maksimi
Niittylava valo	575 A	473 A	544 A	363 kW	109 kvar	364 kVA

Tuloksissa näkyvät vaihekohtaiset maksimivirrat ovat noin 100 ampeerin sisällä toisistaan. Virran kulutukseltaan tämä keskus on mitatuista keskuksista suurin. Kun sen maksimikulutuksia verrataan Kansanpuistontien vastaaviin tuloksiin, on keskuksen koko verkkoon aiheuttama kuormitus yli 60 prosentin luokkaa. Virran kulutuksen suhteen 630 ampeerin keskuksen mitoitusvirroista ollaan vaiheen L1 osalta 55 ampeerin päässä. Voidaankin todeta, että Niittylavan valokeskuksen kuormassa ei tällä pienjänniteverkon rakenteella ole kasvunvaraa. Tehojen suhteen loistehossa esiintynyt maksimi on melko korkea pätötehoon verrattuna. Todellisten tehojen välisestä suhteesta se antaa kuitenkin jonkinlaisen karkean arvion.

Seuraavien Niittylavan valokeskuksesta Fluke-analysaattorin avulla saatujen mittaustulosten tarkoituksena on edustaa valojärjestelmälle normaalia käyttäytymistä erilaisissa tilanteissa sekä antaa lukijalle käsitys valotekniikan sähköisestä käyttäytymisestä kuormana esityksistä muodostuvan yleisötahtuman aikana. Perjantai-iltana esiintyneen Slipknot-yhtyeen esiintymisen aikana Flukella saadut, yhden sekunnin aikakeskiarvolla mitatut kuvissa 20 – 34 näkyvät tulokset ovat hyvä esimerkki valaistusjärjestelmän aiheuttamasta kuormituksesta ja sen vaikutuksesta sähköverkkoon. Seuraavassa on käyty läpi kyseisen mittauksen tuloksia yhden vaiheen ja nollavaiheen osalta. Näissä tuloksissa esitetään vain yhden vaiheen tulokset, koska vaiheiden väliset tulokset ovat hyvin samankaltaisia.

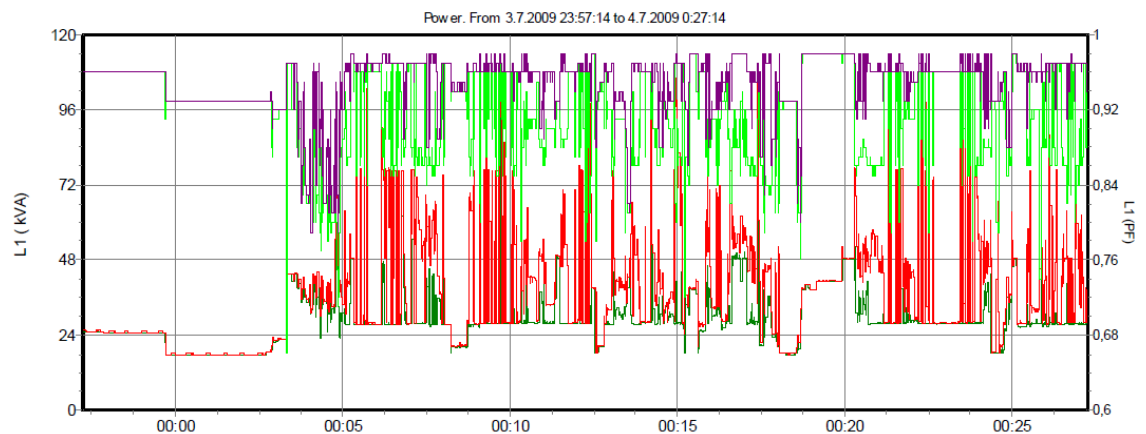


Kuva 20, Vaiheen L1 jännite



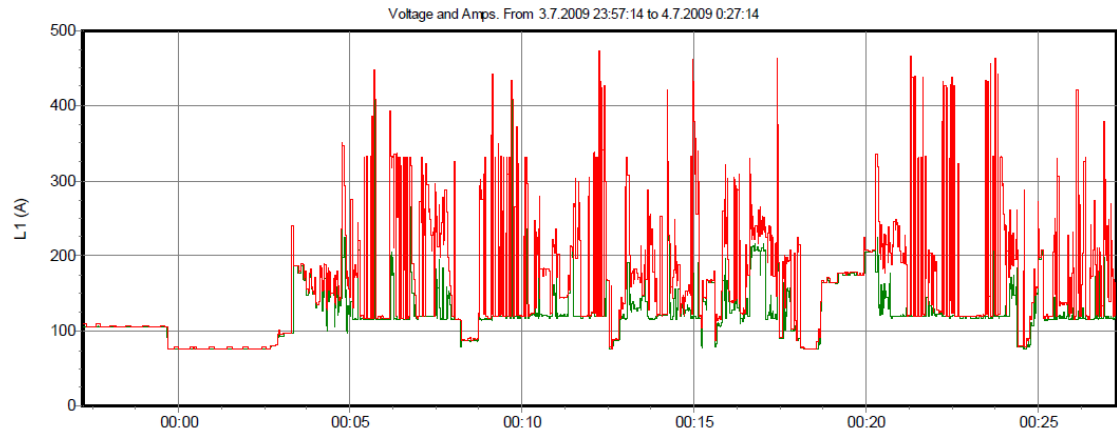
Kuva 21, Vaiheen L1 jännitesärö

Kuvissa 20 ja 21 näkyy jännitteen ja jännitesärön vaihtelut 30 minuutin mittajakson aikana. Vaihejännitteessä näkyvät muutokset ovat pieniä, ollen kokoluokaltaan alle viisi volttia. Kuvissa näkyy selvästi konsertin alkamisajankohta kello 00.03. Konsertin alkamisen jälkeen jännitteessä ja jännitesärössä näkyy selvästi nopeita piikikkäitä muutoksia. Kuvista havaitaan myös jännitteen ja jännitesärön vaihtelun välinen yhteys. Jännitteen vaihtelussa näkyvä rauhallisempi muutaman minuutin jakso ennen kello 00.20 johtuu kappaleiden välissä olleesta tauosta, jolloin valaistusta ajettiin rauhallisemmin.

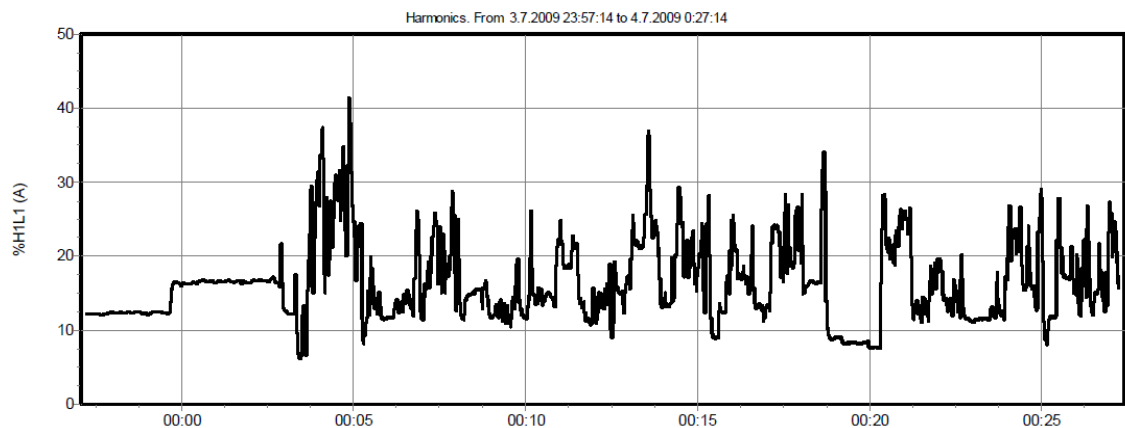


Kuva 22, Vaiheen L1 näennäisteho S ja tehokerroin PF

Ennen konsertin alkua kello 00.03 näennäisteho ja tehokerroin pysyvät lähes samoissa arvoissa. Konsertin alettua valaistuksen aiheuttama kuormitus vaihtelee nopeasti 20 ja 95 kVA:n välillä. Tehontarpeen voidaan havaita olevan nopeasti vaihtelevaa. Tehokulman havaitaan seuraavan näennäistehon vaihtelua.

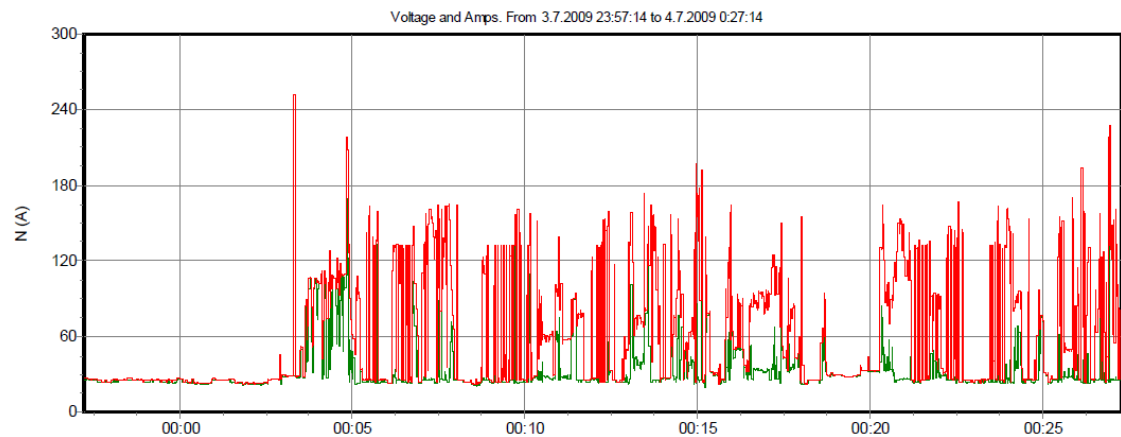


Kuva 23, Vaiheen L1 virta

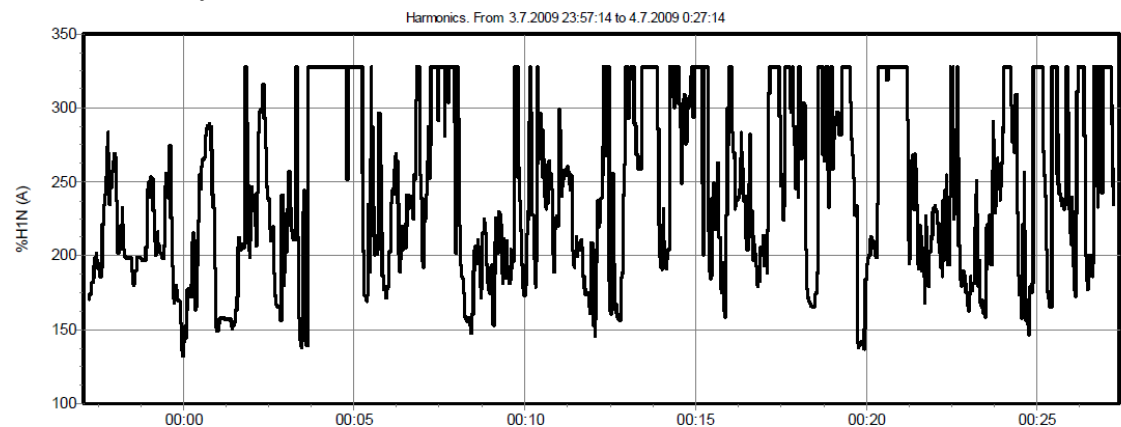


Kuva 24, Vaiheen L1 virtasärö

Kuvissa 23 ja 24 nähdään virran ja virtasärön vaihtelut mittausjakson aikana. Kuvista voidaan havaita sama konsertin alkamiseen liittyvä tilanne, joka oli havaittavissa jännitteen ja tehon kuvissa. Näiden arvojen käyttäytymisen välillä voidaankin havaita selkeä yhteys. Konsertin alkamisen jälkeen noin 100 ampeerissa pysynyt virran kulutus vaihtelee noin 100 ja 470 ampeerin välissä. Virrankulutuksessa näkyvät vaihtelut ovat voimakkaita ja nopeita. Muutokset johtuvat valaistusjärjestelmän ohjaamisesta kappaleiden mukaisen tunnelman luomiseksi. Virran ja virtasärön välinen yhteys on havaittavissa.

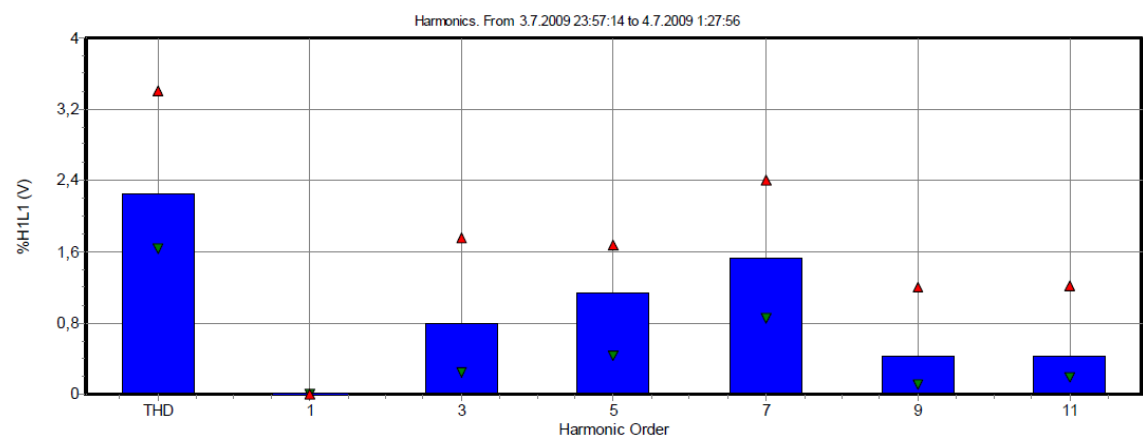


Kuva 25, Nollajohtimen N virta



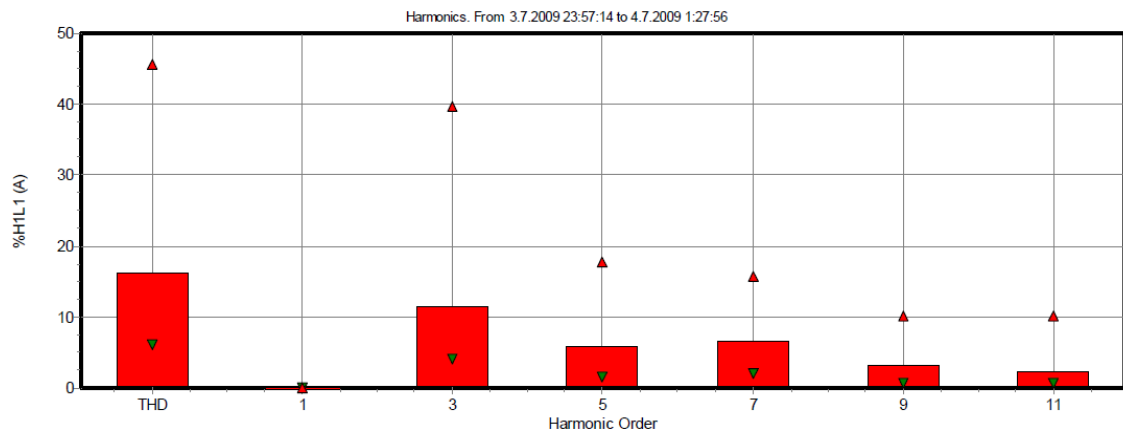
Kuva 26, Nollajohtimen N virtasärö

Nollajohtimen virrassa ja virtasärössä on nähtävissä konsertin aloitusajankohta. Vaiheista nollajohtimeen summautuvan virran nähdään olevan noin puolet vaiheiden virroista, ollen näin 20 ja 250 ampeerin välillä. Nollavirran havaitaan olevan muutoksiensa nopeuden suhteen verrattavissa vaihevirtoihin. Nollajohtimenvirtasärön arvon rajoittuminen 325 %:iin on mittarin asetteluista johtuva ilmiö.



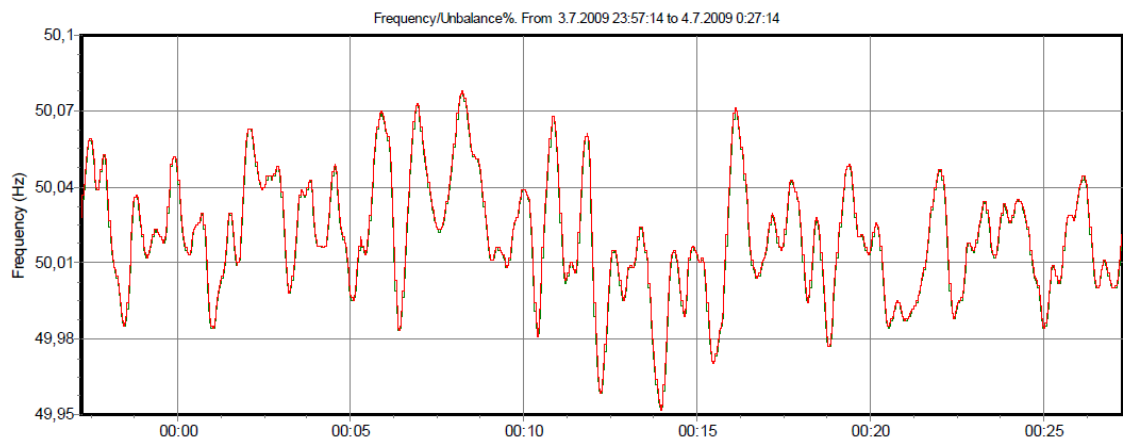
Kuva 27, Mittausjakson jännitesärö

Kokonaisjännitteen THD:n arvo jää alle kolmen, jolloin se pysyy Senerin määrittelemien hyvän laadun rajojen sisäpuolella. Yksittäisistä jännitesäröistä voidaan havaita seitsemannen yliaallon särön olevan voimakkain.



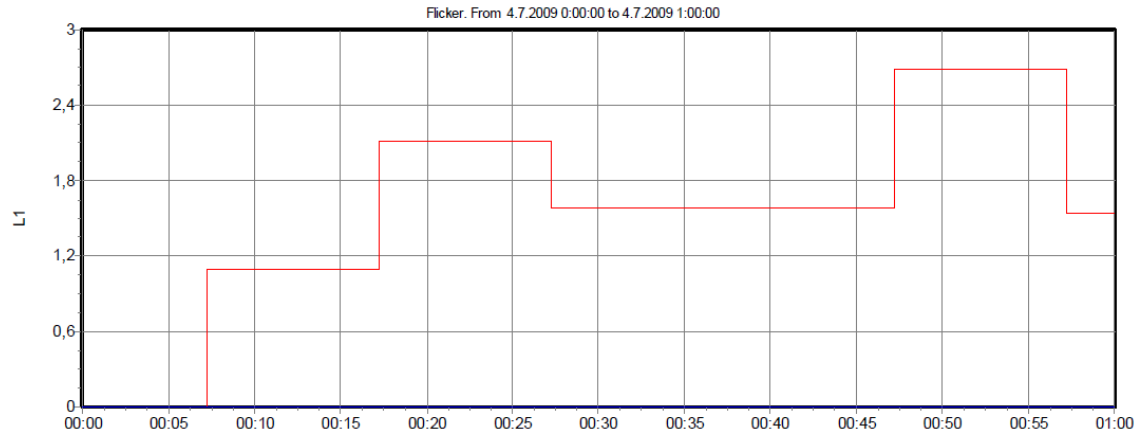
Kuva 28, Mittausjakson virtasärö

Kuvasta 28 voidaan havaita mittausjakson aikaisen kokonaisvirtasärö THD:n nousevan noin kuuteentoista prosenttiin. Yksittäisien yliaaltojen aiheuttamista virtasäröistä kolmannen yliaallon särö on suurin, ja se on arvoltaan noin yksitoista prosenttia.



Kuva 29, Jännitteen taajuus

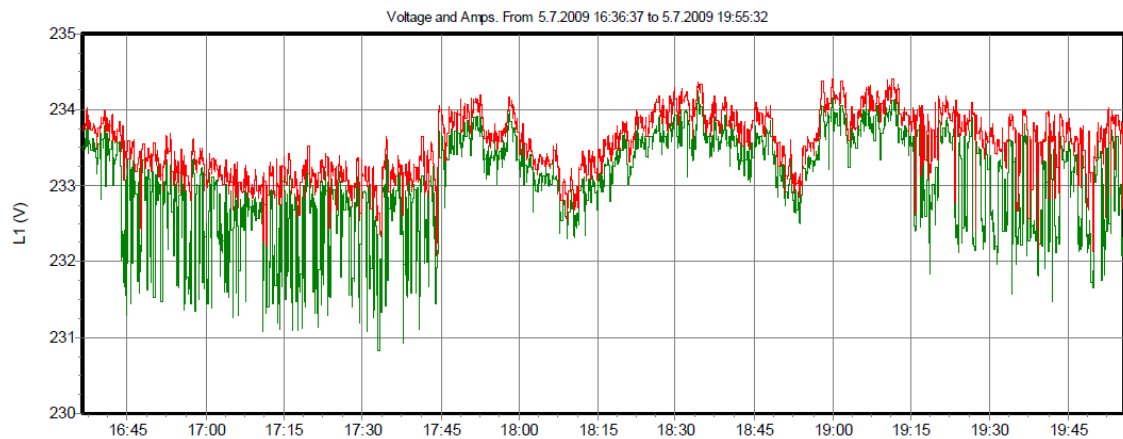
Kuvassa 29 näkyvä jännitteen taajuus pysyy 49,95 ja 50,1 Hz välissä, täyttäen näin Senerin ohjeessa taajuudelle antaman normaalin laadun määritelmän. Kuvassa näkyvä taajuuden vaihtelu ei johdu järjestelmän tehonkulutuksen vaihteluista vaan on kantaverkolle normaalia vaihtelua.



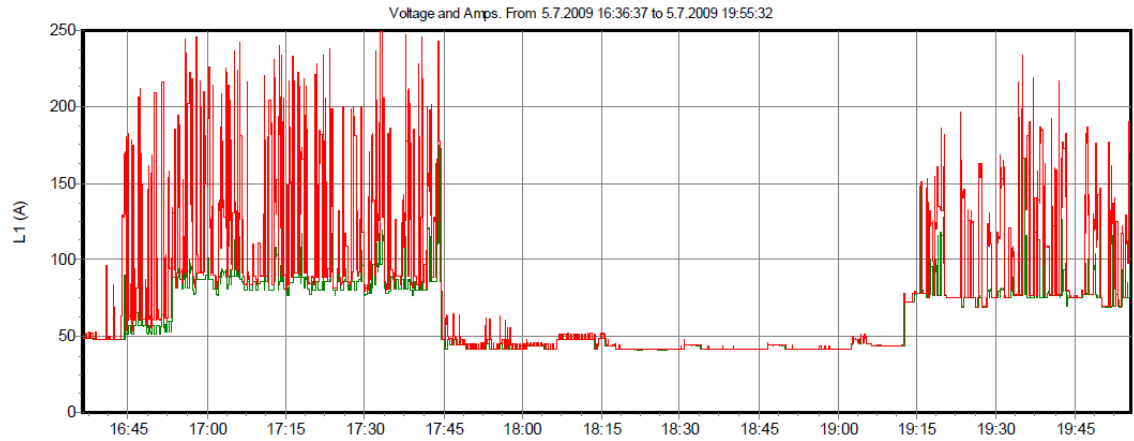
Kuva 30, Vaiheen L1 välkyntä

Kuvassa 30 näkyvän välkynnän aiheuttaa jännitteessä tapahtuvat nopeat muutokset, jotka ovat valotekniikan muodostaman kuorman aiheuttamia. Korkean laadun rajana pidetään arvoa yksi. Konsertin alettua nousee P_{ST} -arvo jo ensimmäisessä portaassa yli yhden, ollen esityksen kuluessa suurimmillaan lähes kolmen luokkaa. Häiritsevyysindeksin P_{ST} -arvot ovat samankaltaisia kaikilla kolmella vaiheella. Jos valokeskusta syöttävään pienjänniteverkkoon olisi kytketty yleisötapahtuman ulkopuolisia asiakkaita, esimerkiksi kotitalouksia tai loma-asuntoja, olisivat niitä syöttävän verkon jännitteessä tapahtuvat muutokset muun muassa valaistuksen suhteen olleet selvästi häiritseviä.

Sunnuntaina iltapäivällä 16.35 ja 20.00 välisenä aikana tehtyjen Fluke-mittauksien tuloksista on hyvin nähtävillä konsertin ja tauon välinen ero. Näytteenottovälinä näissä mittauksissa oli viisi sekuntia ja tulokset on nähtävillä kuvissa 31 – 34.



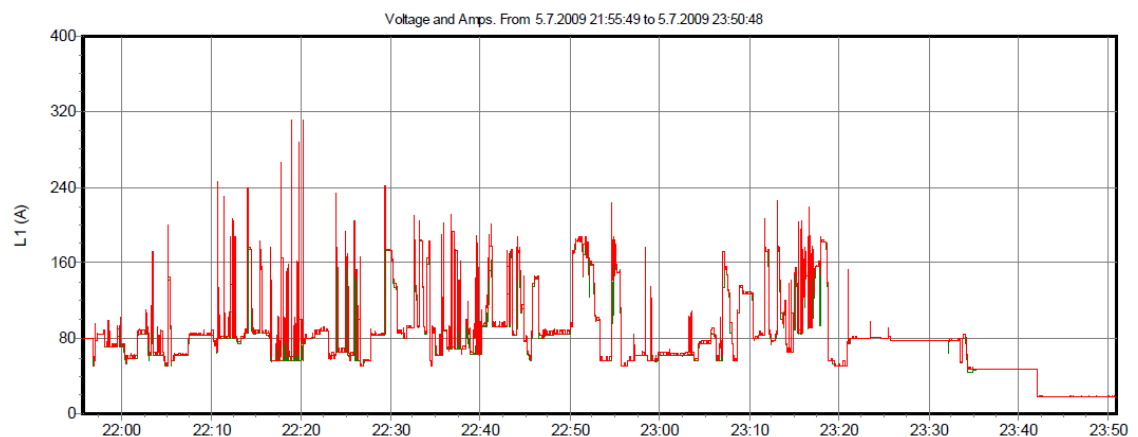
Kuva 31, Vaiheen L1 jännite



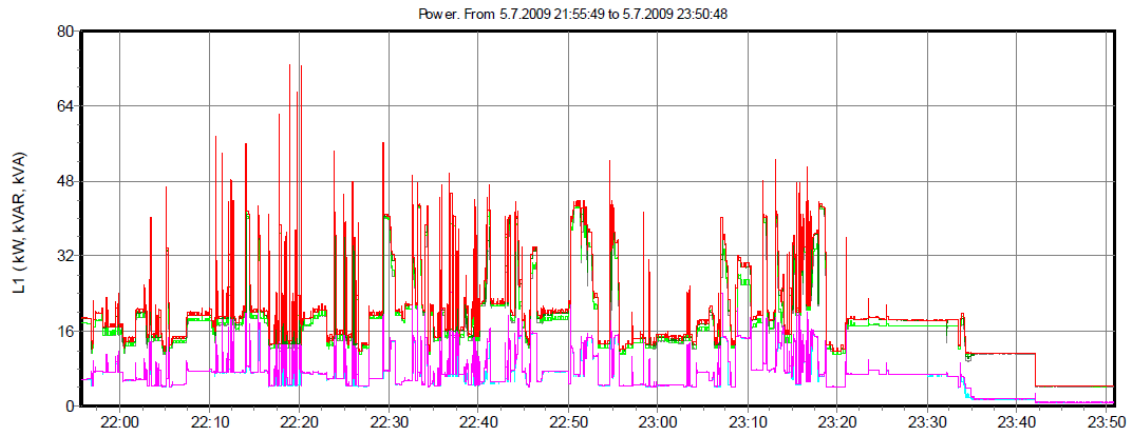
Kuva 32, Vaiheen L1 virta

Kuvissa 31 ja 32 nähdään vaiheen L1-jännitteen ja virran käyrämuodot. Niittylavalla kello 16.45 alkanut konsertti näkyy jännitteen käyrämuodossa lisääntyneenä piikikkäänä huojuntana ja virran kulutuksen histogrammin käyrässä vastaavina virran kulutuspiikkeinä. Kuvissa näkyvä tilanne antaa hyvän yleiskuvan siitä, miten konsertin ja tauon välinen ero näkyy verkosta otettavassa virrassa sekä jännitteen vakaudessa. Jännitteessä tapahtuvat muutokset ovat pieniä, vain muutaman voltin luokkaa. Jännitteen jäykkyyteen vaikuttaa muuntajan välitön läheisyys ja syöttökaapeleiden lyhyt pituus.

Niittylavan valokeskuksesta sunnuntai-iltana mitattuja tuloksia on nähtävillä kuvissa 33 ja 34. Kuvissa näkyy tapahtuman viimeisenä orkesterina esiintyneen Faith No More:n valaistuksesta aiheutunut virrankulutus sekä sen aiheuttaneen näennäistehon muodostuminen lois- ja pätötehosta.



Kuva 33, Vaiheen L1 virta



Kuva 34, Vaiheen L1 lois-, pätö- ja näennäisteho

Tehonkulutusta esittävässä kuvassa nähdään violetin loistehon seuraavan pääpiirteissään pätötehon vihreää käyrää. Valaistusjärjestelmästä ei siis löydy suuria erillisiä loistehon kuluttajia, vaan kulutus syntyy osana järjestelmässä olevia pätötehon kuluttajia. Koska liikkuvien valojen tehonkulutus polttimon ollessa päällä pysyy hyvin tasaisena, voidaan kulutuksen ja loistehon piikkien olettaa syntyvän himmentimissä ja järjestelmässä olevissa efektiivisissä. Konsertti päättyi hieman yli kello 23.20, tämä on nähtävissä kulutuksen tasaantumisenä kyseisen kellonajan jälkeen. Valojärjestelmän sammuttaminen voidaan nähdä tämän ajankohdan jälkeisissä käyrissä. Himmentimiä ei käytetä enää, vain järjestelmän purkamisen avuksi tarvittavat työvalot ja liikkuvat valot ovat päällä. Ensimmäisen liikkuvien valojen ryhmän polttimoiden sammuttaminen näkyy tehon ja virran kulutuksen selvärajaisena laskuna kello 23.35. Toinen ryhmä liikkuvia sammutetaan kello 23.43, tämäkin näkyy selkeänä laskuna kulutuksessa. Verkkoon jää jäljelle vain työvalojen aiheuttama kuorma.

5.2.2. Niittylava äänipääkeskus (400A)

Niittylavan äänipääkeskuksen kuorman muodostivat lavan äänentoiston lisäksi videotaulu ja konsertin taltiointiin sekä livekuvaukseen käytetty kuva- ja äänijärjestelmä. Selvästi suurin yksittäinen tehontarvitsija tässä keskuksessa oli kuitenkin äänitekniikka. Keskuksen tuloksien tarkastelu aloitetaan kokonaiskulutuksesta kertovista WIMO-tuloksista.

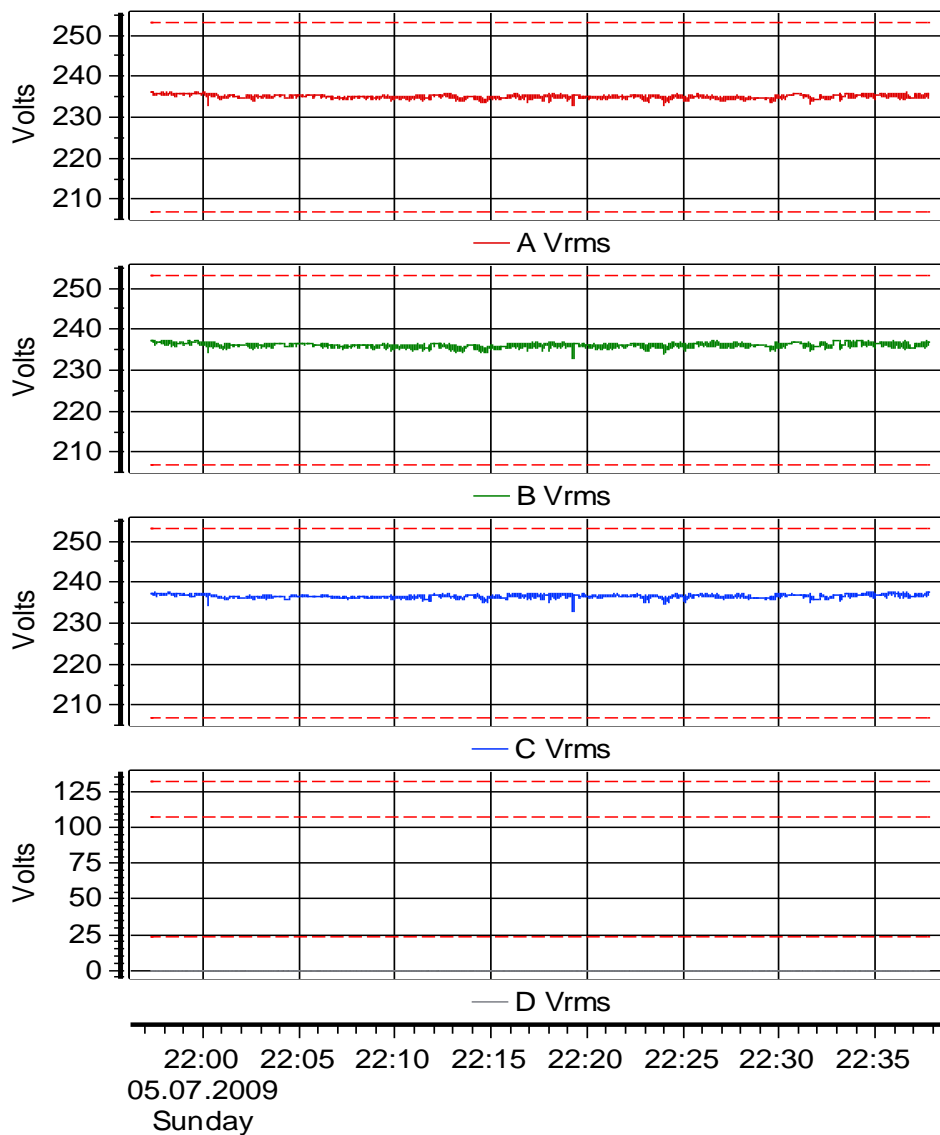
Taulukko 9, Niittylavan äänikeskuksen virta ja tehomaksimit

Mittapiste	IL_1maksimi	IL_2maksimi	IL_3maksimi	Pätöteho maksimi	Loisteho maksimi	Näennäisteho maksimi
Niittylava ääni	148 A	184 A	117 A	56 kW	10 kvar	56 kVA

Keskuksesta otetun vaihekohtaisen maksimivirran nähdään jäävän alle puoleen 400A:n pääkeskuksen mitoituksista. Myös vaiheiden L2 ja L3 välisen maksimikulutuksen ero on 65 ampeerin luokkaa, joka on noin kolmasosa maksimikulutuksesta. Tapahtumaa varten äänentoisto tilasi itselleen 3 kappaletta 125 ampeerin sekä yhden 63 ampeerin

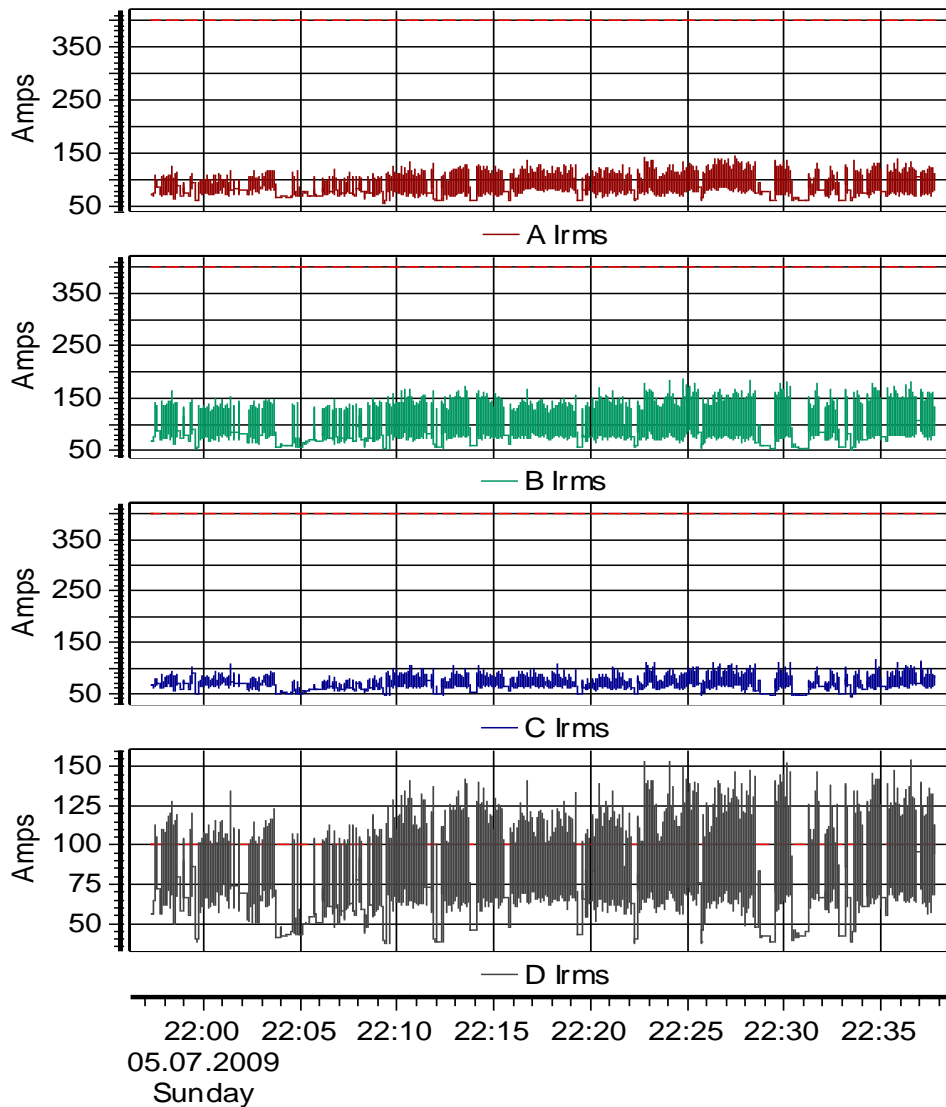
kolmivaiheiset syötöt. Maksimikuormituksessa jäädytään todellisuudessa noin 35 prosenttiin tilauksen pohjalta muodostuneesta käsityksestä maksimitehon tarpeesta. Tämänkaltaisen liian suurten syöttöjen tilaaminen on melko yleistä tietyillä esiintymistekniikan osa-alueilla. Tämä hankaloittaa omalta osaltaan verkon suunnittelua ja mitoittamista. Usein tehontarpeen kartoittamisessa kannattaakin pyytää esiintymistekniikalta erilliset arviot tarvittavien syöttöjen määrästä ja koosta sekä todellisesta tehonkulutuksesta.

Seuraavassa esiteltävät mittaustulokset ovat keskusta mitanneesta Dranetzista. Mittaustuloksista on valittu tässä esitettäväksi sellaisia tuloksia, jotka antavat mahdollisimman hyvän yleiskuvan äänitekniikan muodostamasta esityksen aikaisesta kuormituksesta ja mahdollistavat niiden vertailun muihin esitystekniikan osa-alueisiin. Seuraavissa kuvissa 35 – 41 esitellään sunnuntai 5.7.2009 illalla, festivaalin viimeisenä esiintyjänä olleen Faith No More -yhtyeen konsertin aikana äänipääkeskuksesta mitattuja tuloksia.



Kuva 35, Vaihejännitteet L1, L2, L3 ja N

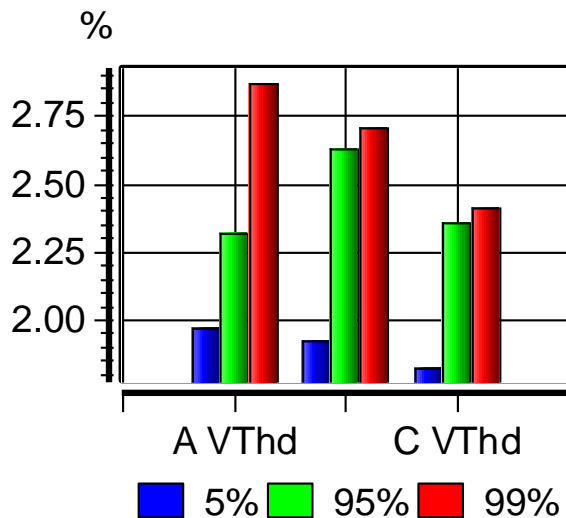
Kuvasta 35 nähdään, että jännitteet pysyvät hyvin tasaisena mittauksena aikana konsertista huolimatta. Keskuksen kokonaiskulutukseen nähden suuri koko ja sijainti pienjänniteverkkoa syöttävän muuntamon lähellä ovat tässä tapauksessa jännitejäykkyyttä selittäviä tekijöitä. Nollavaiheen jännitteen arvo pysyy käytännössä nollassa, kuten kuuluukin.



Kuva 36, Vaiheiden L1, L2, L3 ja N virrat

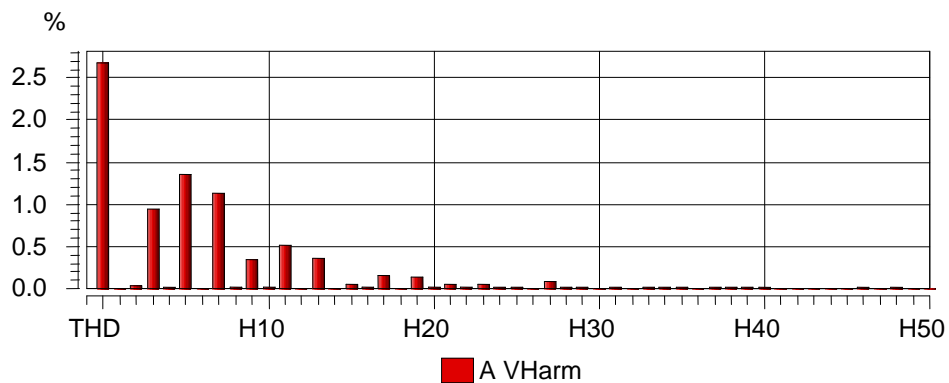
Kuvasta 36 nähdään sunnuntain päätöskonsertin aikainen virrankulutus äänipääkeskuksessa. Suurin osa kulutuksesta muodostuu äänitekniikan laitteista, ja siinä voidaan havaita kappaleiden välissä olevia hiljaisia jaksoja. Vaiheen L2, jota kuvassa merkitään B-kirjaimella, virrankulutuksen havaitaan olevan vaiheita L1 ja L3 suurempi. Tämä tuo selvästi esille, miten syötetyn järjestelmän sisäiset kytkennät voivat aiheuttaa oikein rakennettuun ja suunniteltuun pienjänniteverkkoon vinokuormitusta. Nollavaiheen virta, jota kuvassa merkitään D-kirjaimella, nousee korkeaksi, ollen suuruudeltaan vaihevirtojen luokkaa. Nollavirran kohoaminen selittyy vaiheidenvälisillä

kuormituseroilla sekä järjestelmässä olevilla yliaaltolähteillä, joita löytyy kuorman muodostavista audiovahvistimista sekä led-videonäytön tehrolähteistä.



Kuva 37, Vaiheiden L1, L2 ja L3 kokonaisjännitesäröt

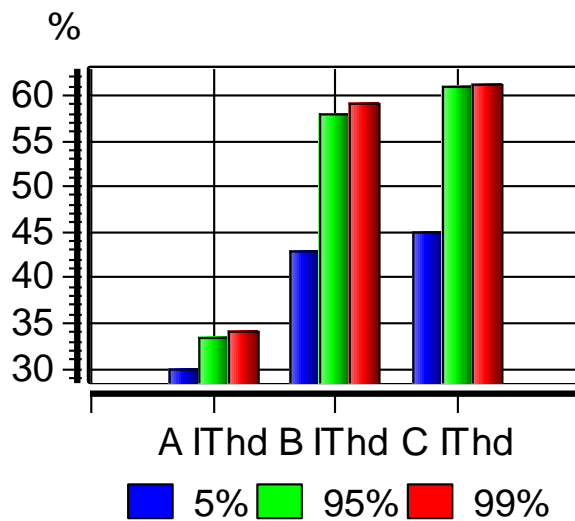
Kuvasta 37 nähdään jännitesäröjen olevan melko samansuuruisia vaiheiden välillä. Jännitesärön ollessa kaikkien vaiheiden osalta alle kolmen prosentin suuruinen, täyttää se Senerin asettaman rajan korkealle sähkön laadulle. Seuraavassa kuvassa nähdään tarkemmin jännitesärö yhden vaiheen osalta.



Total RMS: 235.34 V
 DC Level: -0.12 V
 Fundamental(H1) RMS: 235.05 V
 Total Harmonic Distortion THD: 2.14 % (Even: 0.06 %, Odd: 2.13 %)

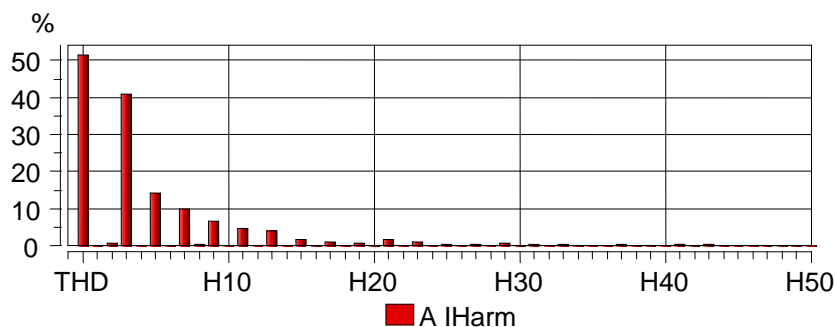
Kuva 38, Vaiheen L1 jännitesärö

Kuvasta 38 nähdään kokonaissärön olevan noin kahden prosentin luokkaa, ollen sellaisenaan matala ja täyttäen standardien asettamat rajat. Kuvan tietojen pohjalta jännitesärö muodostuu lähes kokonaan parittomien yliaaltojen seurauksena, joista arvoltaan suurin on viides harmoninen yliaalto. Vaiheen tasasähkökomponentti jää pieneksi. Äänikeskuksesta mitattu jännitesärö aiheutuu kuormana olevien laitteiden epäsymmetrisestä kuormituksesta ja niiden sisältämistä yliaaltolähteistä.



Kuva 39, Vaiheiden L1, L2 ja L3 kokonaisvirtasäröt

Kuvasta 39 nähdään vaiheiden välisissä kokonaisvirtasäröjen arvoissa olevan useiden kymmenien prosenttien suuruisia eroja. Vaiheiden välillä virtasärö ja sen syntyminen on samankaltaista, joten tarkastellaan seuraavaksi tarkempia mittaustuloksia vaiheen L1 osalta.

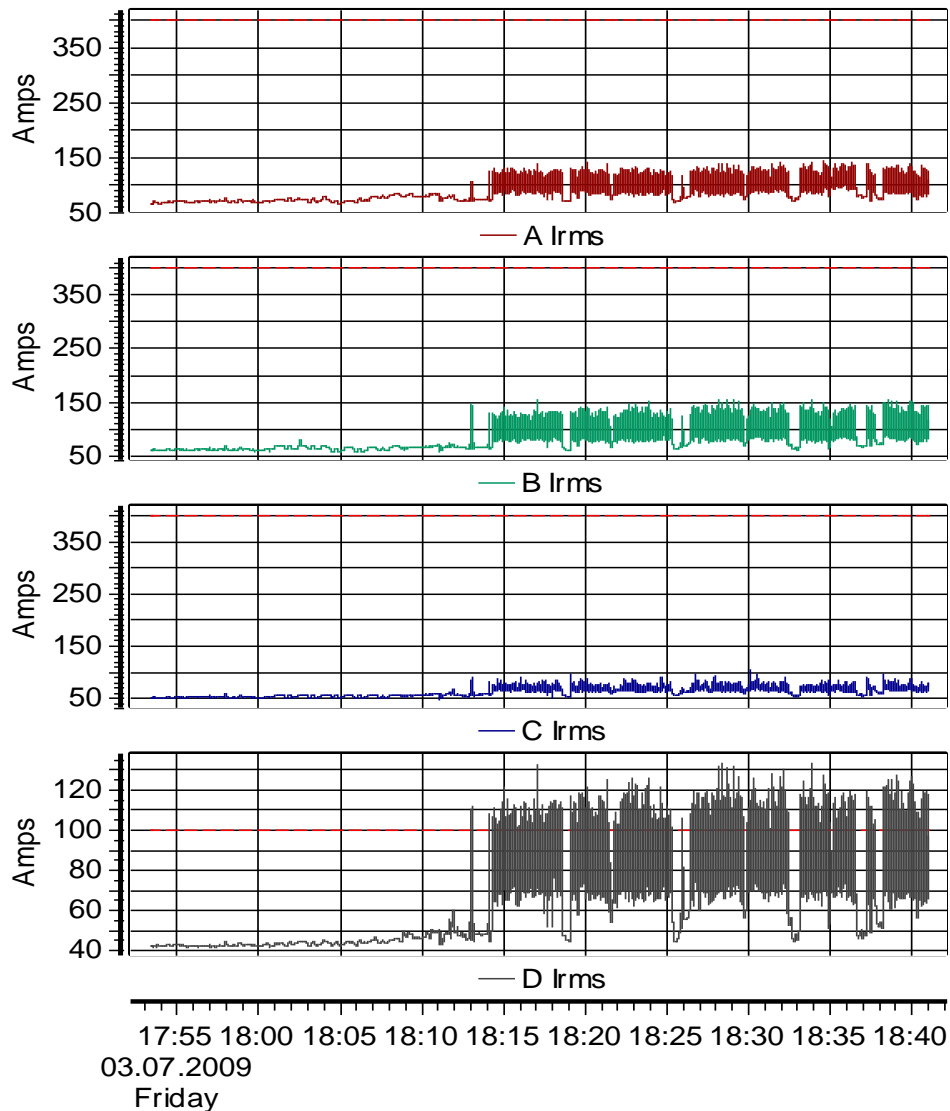


Total RMS: 88.24 A
 DC Level: -0.24 A
 Fundamental(H1) RMS: 59.60 A
 Total Harmonic Distortion THD: 45.46 %FND (Even: 0.83 %FND, Odd: 45.45 %FND)

Kuva 40, Vaiheen L1 virtasärö

Suurin yksittäinen virtasärön aiheuttaja on kuvan 40 mukaisesti kolmas harmoninen yliaalto. Kuvassa näkyvien mittaustuloksien pohjalta voidaan todeta virtasärön syntyvän lähes kokonaan parittomista yliaalloista. Yliaallot muodostuvat kuormana olevien laitteiden vaiheidenvälisestä epätasaisesta kuormituksesta ja niiden sähköisten komponenttien sisältämistä yliaaltolähteistä, esimerkiksi hakkuritekniikasta.

Seuraavaksi tarkastellaan perjantaina 3.7.2009 alkuillasta tehtyjä Niittylavan äänikeskuksen mittauksia. Tulokset sisältävät sekä tauon että konsertin aikana saatua mittausdataa.



Kuva 41, Vaihekohtaiset virrat

Tehonkulutuksen suhteen äänitekniikka toimii kuten edellisessä kappaleessa 5.2.1 esitetty valotekniikka. Tämä nähdään selvästi kuvasta 41, jossa noin kello 18.15 alkava konsertti näkyy virrankulutuksen kolminkertaistumisena verrattuna ennen konserttia olleeseen noin 50 ampeerin vaihekohtaiseen kulutukseen. Konsertin alkamisen jälkeen kuormitus on nopeasti vaihtelevaa ja sisältää selvästi nähtäviä huippuja kuten valotekniikan osaltakin.

5.3. Telttalavan tulokset

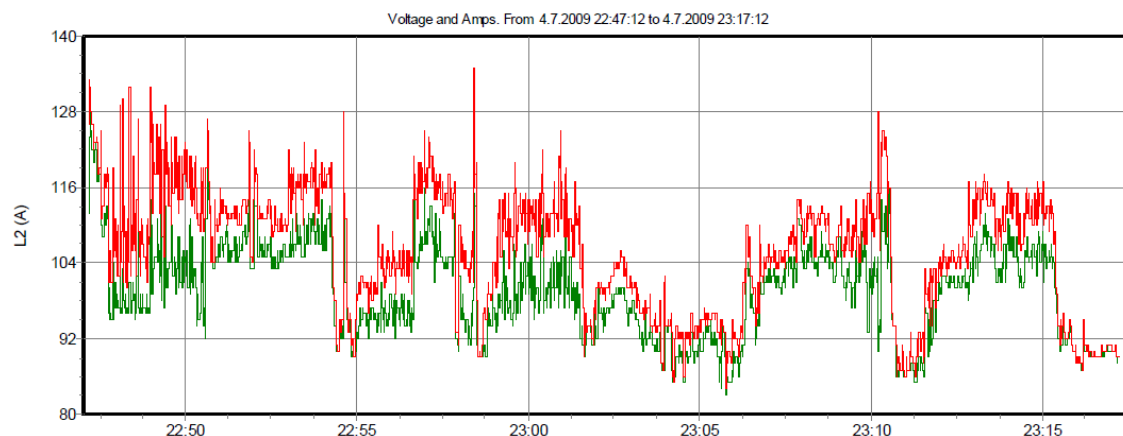
Neljäs mittauspiste oli Telttalavan 400A syöttökeskuskeskus, jonka kuorma muodostui valo-, ääni- ja kuvatekniikan sekä teltan viereisen ravintolan muodostamasta yhteiskuormasta. Mittauskohteena tämä poikkeaa Niittylavan mittauspisteistä syöttämänsä yhteiskuorman takia. Tuloksia on mielenkiintoista verrata valo- ja äänikeskuksen vastaaviin tuloksiin. Koko tapahtuman aikaisten kuormitusten mittaamisesta vastasi WIMO. Toisena mittarina tarkempiin suorituksiin käytettiin Flukea. Seuraavaksi esiteltävien mittaus tulosten tarkoituksena on luoda mahdollisimman hyvä yleiskuva keskuksen syöttämän kuorman kaltaisen yhteiskuorman käyttäytymisestä esityksen aikana. Aloitetaan tuloksien tarkastelu yleisesti keskuksen maksimikuormituksista kertovilla WIMO-tuloksilla.

Taulukko 10, Telttalavan virta ja tehomaksimit

Mittapiste	IL_1 maksimi	IL_2 maksimi	IL_3 maksimi	Pätoteho maksimi	Loisteho maksimi	Näennäisteho maksimi
Telttalava	204 A	209 A	215 A	129 kW	68 kvar	133 kVA

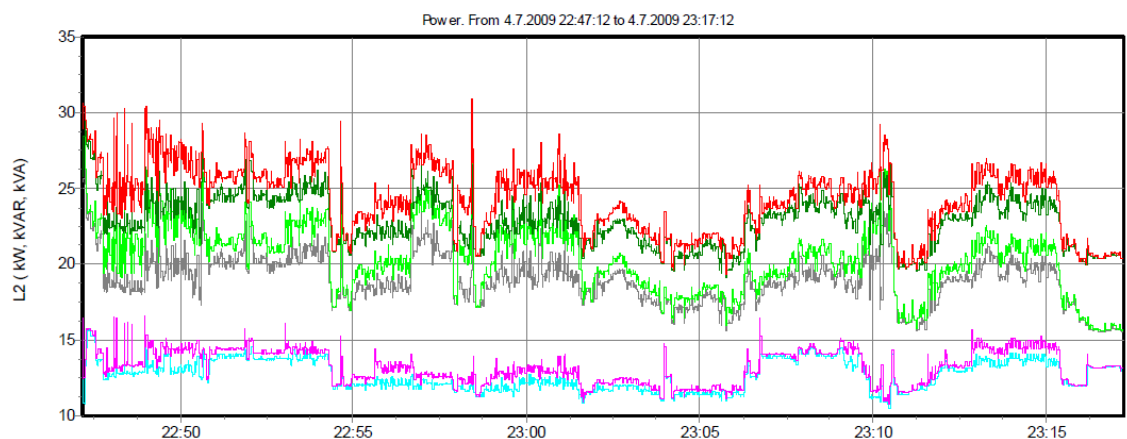
Taulukosta nähdään, että 400A keskuksen huippukuormitus jää puoleen keskuksen mitoituksista. Keskuksen syöttämän kuorman laskennallinen teho on yli 100 ampeeria huippukuormitusta suurempi. Kokonaiskuormituksen todellista arvoa selittää omalta osaltaan myös se, etteivät kaikki kuormana olevat laitteet tarvitse maksimivirtaansa samanaikaisesti. Loistehon maksimiarvo on pätö- ja näennäistehoon verrattuna melko suuri. Sitä selittää omalta osaltaan sekakuormitus, jossa erityisesti valotekniikka ja videotaulu kuluttavat loistehoa.

Kuvien 42 – 44 tulokset on mitattu Telttalavalla lauantai-iltana esiintyneen Living End -nimisen orkesterin konsertin aikana. Eri vaiheiden väliset tulokset olivat hyvin samankaltaisia. Siksi tässä esimerkissä on järkevää esitellä tuloksia vain yhden vaiheen osalta.



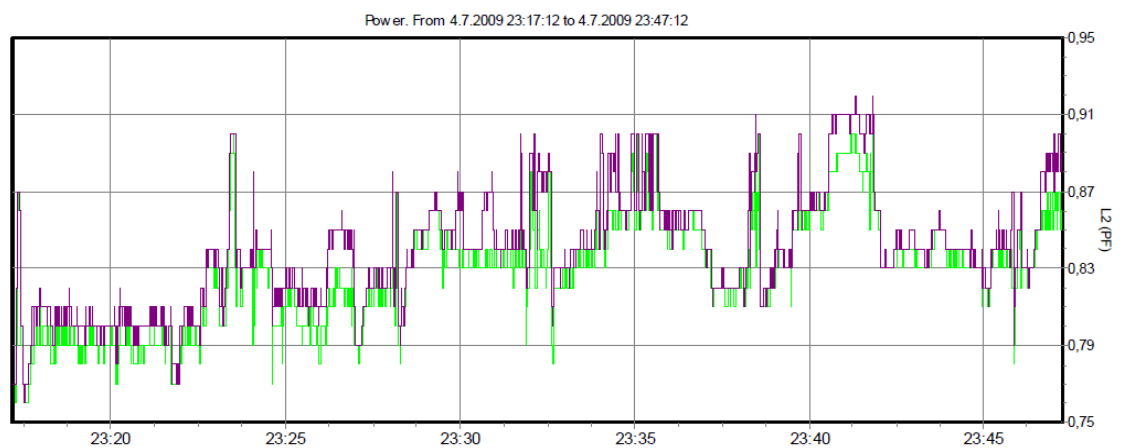
Kuva 42, Vaiheen L2 virta

Virran käyttäytymisessä näkee kappaleessa 5.2 läpikäytyjen Niittylavan tuloksien kaltaista nopeaa ja lyhyttä vaihtelua. Kuitenkin virran kulutuksessa tapahtuvat muutokset ovat pienempiä kuin esimerkiksi pelkästään valotekniikkaa syöttäneen keskuksen tapauksessa. Virrankulutuksen kannalta näyttää, että virran minimi ja maksimi kuormituksen väliset erot ovat yksittäistä järjestelmään pienemmät. Vaikka esitystekniikan eri osa-alueet liittyvät Telttalava syöttökeskuksen tapauksessa samaan konserttiin, tasoittavat eri osa-alueiden luomat kuormat virrankokonaiskulutusta, koska järjestelmien kuormitushuiput eivät riipu toisistaan, eivätkä aina ole samanaikaisia. Verrattuna esitystekniikan laskennalliseen maksimi kuormitukseen todellinen kulutus ei ole yhtä suurta, vaan tuloksissa jäädään noin 60 prosentin suuruuteen pyydetystä. Tällaista laskutapaa ei kuitenkaan voida käyttää yleisenä suunnittelun perusteena.



Kuva 43, Vaiheen L2 lois-, pätö-, ja näennäisteho

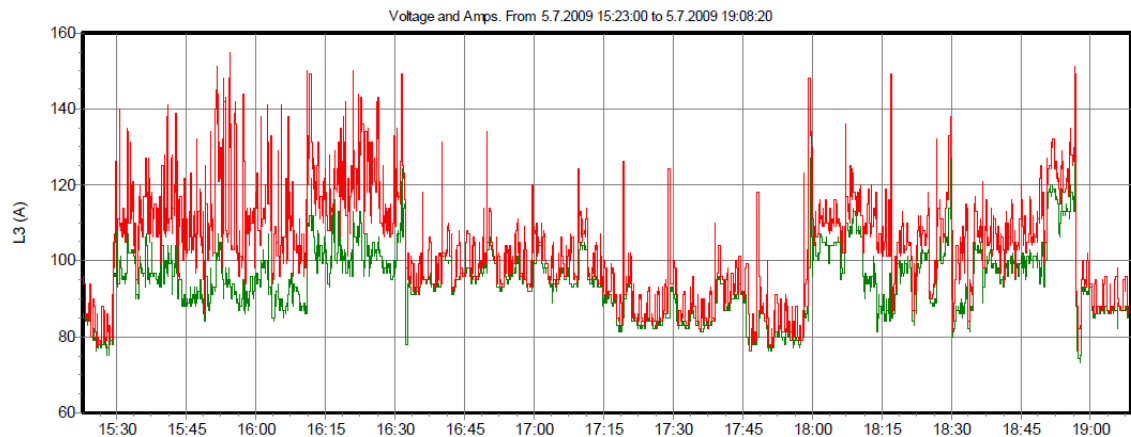
Kuvasta 43 nähdään, että keskuksen syöttämän sekakuorman tapauksessa kuvassa alimpana kulkeva violetilla merkitty loistehon käyrä seuraa melko tarkasti ylempänä vihreänä näkyvän pätötehon käyrää. Loistehon suhde pätötehoon on kuitenkin melko korkea, ollen noin 30 prosenttia. Näennäistehossa näkyviä korkeimpia tehopiikkejä tarkasteltaessa, voidaan todeta niiden muodostuvan pätötehon muodostamasta tehosta. Näiden kulutuspiikkien aiheuttajana on kuormassa ollut valohimmennin.



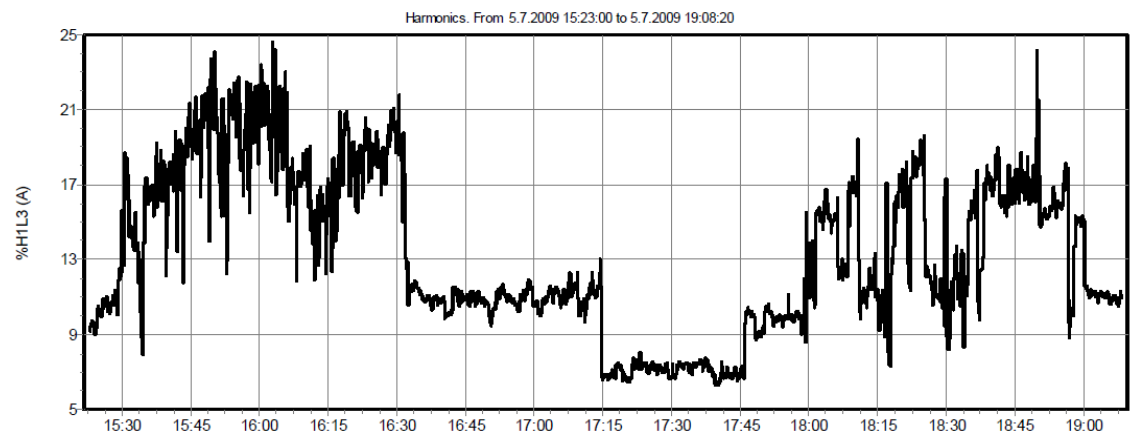
Kuva 44, Vaiheen L2 tehokerroin

Kuvassa 44 vihreänä ja violettina näkyvät tehokertoimen (PF) minimi- ja maksimiarvojen vaihtelut konsertin aikana. Tehokerroin pysyttelee mittaustuloksissa 0,75 ja 0,9 välisellä alueella, muuttuen kuitenkin nopeasti tehossa tapahtuvien muutosten mukaisesti. Yleisellä tasolla voidaan tehokertoimen nähdä olevan melko alhainen, johtuen loistehon suuresta määrästä pätötehoon verrattuna. Suuri loistehon määrä on seurausta kaikkien eri laiteryhmiä vaatimasta loistehosta. Kiinteistä asennuksista tuttujen, portaittain säädettävien kompensointikondensaattoreiden käyttö tässä tapauksessa on nopeista muutoksista johtuen kannattamatonta.

Sunnuntaina 5.7.2009 iltapäivällä Telttalavan keskuksesta Flukella viiden sekunnin näytteenottoajalla suoritetuista mittauksista nähdään hyvin kokonaisen esiintymislavan tekniikan ja sen ympärillä olevien palveluiden yhdessä muodostaman tehontarpeen vaikutus syöttävään pienjänniteverkkoon keskuksen tasolla. Näitä tuloksia on käyty läpi kuvissa 45 – 49.



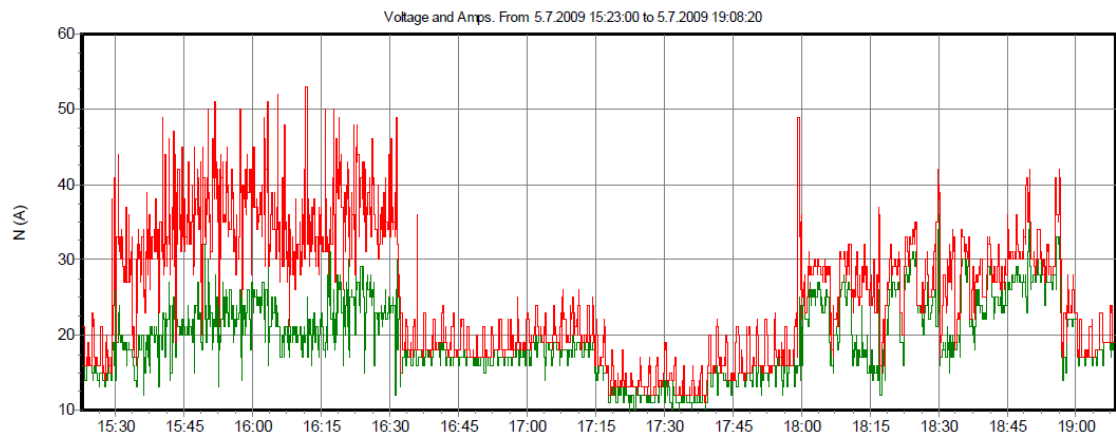
Kuva 45, Vaiheen L3 virta



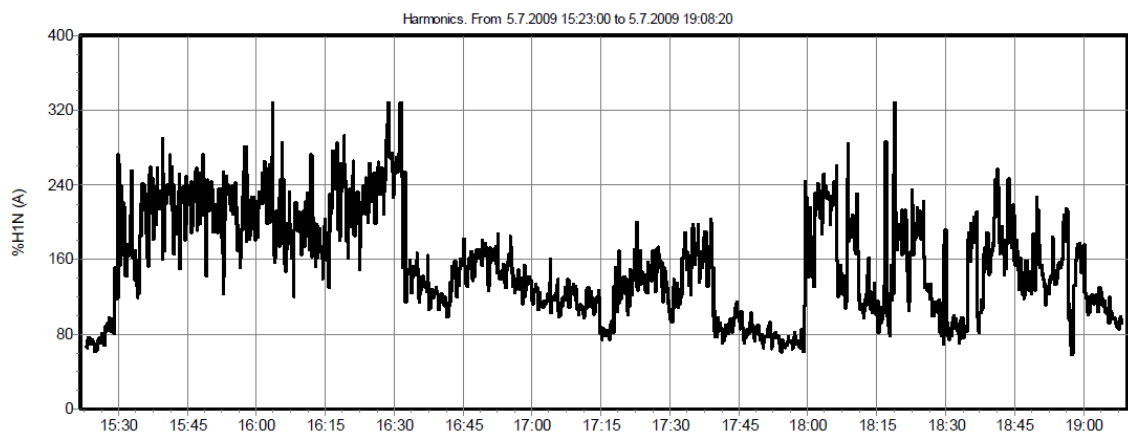
Kuva 46, Vaiheen L3 virtasärö

Kuvassa 45 näkyvän virran kulutuksen ja kuvan 46 saman vaiheen samanaikaisen virtasärön käyrän välinen yhteys on selvä. Virran tarpeen kasvaessa myös virtasärön määrä kasvaa. Tarkasteltaessa virrankulutusta havaitaan kuvasta virran tarpeen nousseen kello 15.30, jolloin esiintymislavalla on alkanut konsertti, joka on loppunut

kello 16.30. Seuraavan orkesterin konsertin nähdään alkaneen kello 18.00 ja loppuneen hieman ennen kello 19.00. Mittaustuloksissa on näin selvästi havaittavissa virran tarpeen vaihtelu konsertin ja väliajan välisessä kuormassa. Selviä virtapiikkejä voidaan havaita myös konsertin aikana. Nämä piikit johtuvat yhteiskuorman tapauksessa pääasiassa valaistuksessa tapahtuvista vaihteluista ja ovat valohimmentimien sekä efektivalojen aiheuttamia. Mittaustuloksissa selvästi erottuvan, ohuen, noin kymmenen minuutin välein säännöllisesti esiintyvän kuormituspiikin on aiheuttanut pääkeskuksesta syötetty juomien jäähdyttämiseen tarkoitettu siirrettävä, kylmäkompressorilla varustettu kontti. Piikin on aiheuttanut kontin kylmäkompressorin käynnistyminen, joka vaatii paljon virtaa. Mittausajanjaksolla Ruissalossa oli lämmintä, tämä lisää kylmälaitteiden aiheuttamaa kuormitusta. Tällaisten kuormituspiikkien huomioiminen suunnittelussa on vaikeaa ja tämänkaltaisten tilanteiden vuoksi verkossa onkin syytä olla riittävästi kuormitusvaraa. Lavan esitystekniikan huippukuormitusjaksoon osuva virtapiikki voisi aiheuttaa esimerkiksi sulakkeen tai muun suojalaitteen havahtumisen liian tarkalle mitoitetussa verkossa.



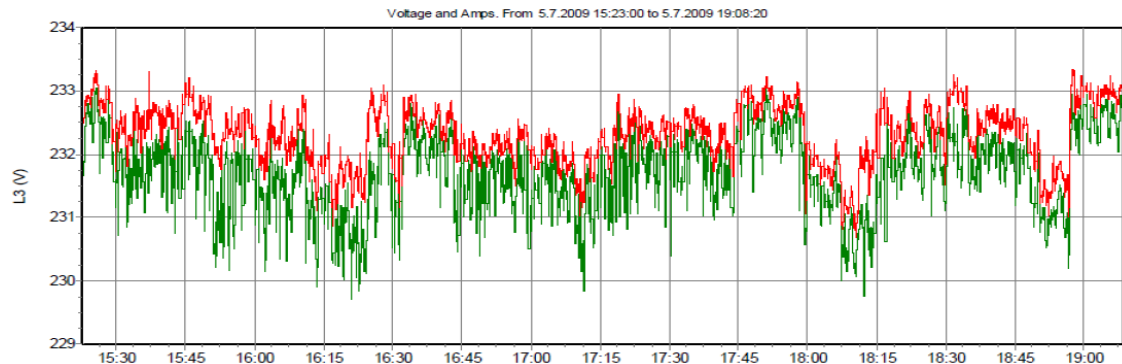
Kuva 47, Nollajohtimen virta



Kuva 48, Nollajohtimen virtasärö

Kuvien 47 nollajohtimenvirran ja kuvan 48 virtasärön välillä on nähtävissä kuormituksen suuruuden selvä vaikutus virtasärön suuruuteen. Nollavaiheeseen

summautuneen virran suuruuden voidaan nähdä liittyvän selvästi kuvasta 45 nähtävään vaihevirran suuruuteen. Vaihevirtojen tarpeen kasvaessa myös nollajohtimeen summautuneen virran määrä kasvaa, ollen kyseisen yhteiskuorman tapauksessa noin 30 prosenttia vaihevirtojen suuruudesta. Vaihevirtojen ja vaihevirtasäöjen käyrien tapauksessa tutut, nopeat ja suuret vaihtelut ovat selvästi nähtävissä myös nollavaiheen osalta.



Kuva 49, Vaiheen L3 jännite

Kuvassa 49 nähdään vaiheen L3-jännitteen vaihtelu sunnuntai-iltapäivän mittauksissa. Tämänkin keskuksen tapauksessa siinä tapahtuvat vaihtelut jäävät melko pieniksi, ollen muutamien volttien suuruus luokkaa. Vaihtelut ovat nopeita, mutta niistä ei aiheudu haittaa laitteiden toiminnalle. Maakaapeleiden pituus muuntamolta Telttalavan keskukselle oli noin 200 metriä. Tämä ei kuitenkaan näy tuloksissa huomattavana jännitteen alenemana. Verrattaessa jännitettä muuntamon läheisyydessä olleisiin Niittylavan keskuksiin, on pidemmän kaapeloinnin aiheuttama jännitteen alenema muutaman voltin luokkaa. Poikkipinnaltaan riittävä kaapelointi, ja kuten tämän syötön tapauksessa, kaksinkertainen kaapelointi onkin tärkeää pidemmällä matkoilla tarvittavan jännitejäykkyyden varmistamiseksi.

5.4. Tulosten koonti

Ruisrockin mittauksista voidaan tehdä muutamia yleispäteviä havaintoja. Aluksi voidaan tarkastella koko mittauksissa mukana olleesta verkosta saatuja virran- ja tehonkulutuksen arvoja yhdessä taulukossa.

Taulukko 11, Kokonaiskulutus mitatussa verkossa

Mittapiste	IL_1 maksimi	IL_2 maksimi	IL_3 maksimi	Pätöteho maksimi	Loisteho maksimi	Näennäisteho maksimi
Kansanpuistontie	728 A	688 A	708 A	482 kW	151 kvar	494 kVA
Niittylava valo	575 A	473 A	544 A	363 kW	109 kvar	364 kVA
Niittylava ääni	148 A	184 A	117 A	56 kW	10 kvar	56 kVA
Telttalava	204 A	209 A	215 A	129 kW	68 kvar	133 kVA

Ruisrockin 2009 väliaikaista pienjänniteverkkoa mitatessa mikään tuloksista ei ollut työssä käytettyjen sähkönlaatua arvioivien standardien tai suositusten antamien arvojen mukaan huolestuttavan suuri. Ainoastaan välkynnän lyhyt P_{ST} -arvo ylittää sille standardissa asetetun arvon. Kokonaiskuorman aiheuttamat häiriöt olivat kuitenkin tehoihinsa nähden huomattavia. Mittaustulokset vastasivat pääpiirteissään ennakkoletuksia esiintymistekniikan kuormasta. Saadut tulokset ovat kokonaisuudessaan sähköteknisesti siistejä. Suurimmalta osin sähkön hyvää laatua ja jännitteen jäykkyyttä selittää lähellä oleva, pelkästään kyseisen tapahtuman pienjänniteverkon käyttöön tarkoitettu muuntaja sekä verkon kiinteä maakaapelointi. Näiden tekijöiden avulla kaapelipituudet pysyvät lyhyinä, jännitteen alenemat pieninä ja verkko kaikilta osiltaan sähköisesti riittävän jäykkänä.

Esitystekniikan käyttämien laitteiden tehontarpeessa esiintyi ennakkoarvioiden mukaisesti nopeita sekä korkeita muutoksia, ja niihin on syytä varautua verkkoa suunniteltaessa. Vaiheiden välinen kuormitus oli kuitenkin ennakkoarvioihin verrattuna yllättävän tasaista. Tämä riippuu kuormituksen aiheuttavien järjestelmien kytkennöistä, mutta ainakin näissä mittauksissa tekniikan toimittaneiden yritysten laitteistot olivat vaiheiden välisesti hyvässä tasapainossa. Esitystekniikka sisältävän väliaikaisen pienjänniteverkon suunnittelussa on kuitenkin syytä varautua korkeaan ja nopeatempoiseen kulutukseen; esimerkiksi suurten ulkomaisten produktioiden ilmoittamat tehontarpeet kannattaa huomioida jo verkon ennakkosuunnittelussa. Työn mittaustuloksien tehoja tutkittaessa loistehon käyrät seurasivat tarkasti pätötehon käyriä. Esitystekniikan laitteista ei löytynyt suuria yksittäisiä loistehokuormia tai -lähteitä, vaan kuormitus oli osa muuta kuormitusta. Vaikka hetkellisesti loistehon tarve tietyissä verkon osissa oli melko suurta pätötehoon verrattuna ja tehokulma laski melko matalaksi, tämä ei kuitenkaan aiheuttanut tarvetta loistehon kompensoinnille verkkokohtaisella tasolla.

Jännitesäröä ja virtasäröä esiintyi koko verkossa ja niiden yhteys oli helposti yhdistettävissä konserttien aikaiseen esitystekniikan suurempaan tehontarpeeseen. Jännitteen ja virtapuolen THD:n suuruus ei kuitenkaan missään mitatussa verkon osassa ollut huolestuttavan korkea. Virtasärön suhteellinen määrä oli kuitenkin hieman jännitesäröä korkeampaa. Vaikka kansallisen standardin tasolla ei vielä asetetakaan vaateita virtasärön ja -yliaaltojen suhteen, kannattaa ne ja niiden aiheuttamat häiriöt ottaa huomioon verkon suunnittelussa ja mittauksessa.

Johtuen vaiheiden välisten kuormitusten vaihtelusta, verkossa esiintyvistä yliaalloista sekä loistehosta, mitatun väliaikaisen pienjänniteverkon nollajohtimessa esiintyi huomattavia virtoja. Pahimmissa tapauksissa nollavirta nousi vaihevirtoja suuremmaksi, ollen kuitenkin normaalisti noin puolet vaihevirtojen suuruudesta. Tuloksena tämä tukee NT-S -järjestelmän käytön tarpeellisuutta ja sitä, että kaikkien viiden järjestelmässä käytettävän johtimen poikkipintojen on oltava yhtä suuri. Koska verkon tähtipisteisiin summautuvat vikavirrat ovat suuria, tämä on huomioitava myös suojalaitteiden asettelussa. Vikavirtasuojista puhuttaessa onkin tärkeää, ettei käytettävissä keskuksissa ole useita lähtöjä saman vikavirtasuojan takana. Riittävällä

vikavirtasuojien käytöllä saadaan aikaiseksi riittävän selektiivinen verkko, jossa syöttävän päänsuojien arvot voidaan asettaa riittävän suuriksi. Näin estetään turhia katkoksia verkon sähköjakelussa ja viallisten laitteiden löytäminen verkosta helpottuu.

Verkossa mitatut välkyntien arvot kohosivat varsinkin konserttien aikana selvästi häiritseviksi. Mikäli yleisötapahatuma-alueella syöttävän muuntamon pienjännitepuolella olisi esimerkiksi tapahtuman ulkopuolista kiinteistöä, olisi esityksen verkkoon aiheuttama häiriö huomattavaa ja häiritsevää. Esitystekniikan kuorman aiheuttamat muutokset olisivat selvästi havaittavissa esimerkiksi valaistuksessa, ja joidenkin herkkien laitteiden, kuten tietokoneiden tai teollisuusrobottien toiminta voisi häiriintyä. Kansanpuistontien muuntamolta mitatut välkyntien P_{ST} -arvot antaisivat paremman kokonaiskuvan välkyntien suuruudesta.

Mikäli alueelle tiedetään tulevan suuri määrä esitystekniikkaa sekä muuta yleisötapahatumaan liittyvää tekniikka, ja mahdollisen tehonsyötön pienjännitepuolella tiedetään olevan muitakin asiakkaita, on syytä harkita siirrettävän generaattorilaitteiston käyttöä. Omana saarekkeenaan toimivassa verkossa esiintyvät sähköiset häiriöt pysyvät paikallisina, ja generaattori toimii ominaisuuksiensa ja säätöjensä puitteissa eräänlaisena kompensattorina.

Tämän työn mittaustuloksia tutkittaessa ja verratessa esityksien väliaikaisiin pienjänniteverkkoihin yleisesti, on muistettava, että Ruisrock on yleisötapahatumien joukossa erityistapaus. Festivaaleilla käytettävä erillinen muuntaja sekä hankittu maakaapelointi ovat harvinaista ennakkovalmistautumista. Vastaavanlainen järjestely on tällä hetkellä käytössä ainoastaan Porissa Kirjurinluodon alueella. Oma muuntamo luo esityksen verkolle toiminnalliset edellytykset olla riittävän lähellä tehontarvetta ilman suuria kaapelointietäisyyksiä. Tämä mahdollistaa verkossa hyvän sähkölaadun ja kuormitusmuutosten vähäisen vaikutuksen sähkölaatuun. Mikäli tällaista järjestelyä ei olosuhteista johtuen ole kannattavaa tehdä, on siirrettävällä kalustolla tuotettu sähkö yleisesti vähemmän työtä vaativa ja edullisempi ratkaisu.

Tulosten perusteella voidaankin nostaa esiin muutamia yleisesti huomioitavia seikkoja verkon häiriösietoiselle rakenteelle: Tehokaapelointi ja niiden jakelureitit on suunniteltava ennakolta tarkasti, esimerkiksi jos äänentoistoa ja valaistusta syötetään erillisistä teholähteistä, tulisi niiden kaapelireittien kulkea erillään mahdollisten indusoituvien häiriöiden minimoimiseksi. Sama koskee myös sähkönsyötön ja erilaisten signaaleiden, esimerkiksi kuvasignaalin kaapelointia. Mietittäessä esiintymislavaa kokonaisuutena korostuu kaikkien osapuolten yhteistyön ja ammattitaidon tärkeys kaapeloinnin suunnittelussa. Tämän työn mittauksiin ei sisälly tapausta, jossa ulkomaisella esiintyjällä olisi ollut mukanaan omaa jakelujärjestelmää, esimerkiksi 110 V. Varsinkin suuritehoisten erillisjärjestelmien muuntajien tehonsyöttö ja niiden mahdollisesti aiheuttamat ongelmat on otettava huomioon kokonaisuutta suunniteltaessa.

5.5. Kokemukset mittauksista

Lähdettäessä suorittamaan mittauksia, kirjallisuudesta ei löytynyt tietoja vastaavissa olosuhteissa suoritetuista mittauksista. Tämän takia mittarit, niiden sijoittaminen verkkoon sekä niiden mittadatan keräysasettelut suunniteltiin yhteistyössä mittausten parissa pitkään toimineiden henkilöiden kanssa. Mittaukset olivat kuitenkin mittaajille ensimmäiset tämäntyyppiset, ja niiden tuloksena saatiin varsinaisen mittadatan lisäksi paljon mittausten järjestämistä koskevaa hyödyllistä tietoa: käytössä oli useita erilaisia mittareita, kokemuksia saatiin niin oikean mittarin valinnasta oikeaan paikkaan, mittareiden erilaisesta toiminnasta sekä mittarin asetuksien tekemisestä niin, että mitataan ja tallennetaan haluttua tietoa.

Ruisrock-tapahtuman mittauksissa suurimmat virheet tapahtuivat WIMO-mittareiden asetteluissa. Jokaiseen mittapaikkaan asennetun mittarin asettelussa tapahtui virhe, jonka johdosta mittareista ei saatu aikajanaan sidottua dataa. Tästä huolimatta WIMO-mittareiden tuloksista nähtiin koko mittausjaksolta halutut jännitteen, virran sekä tehon maksimi- ja minimiarvot. Mittareiden ja niiden keräämän datan purkamiseen tarkoitettujen ohjelmien ja niiden ominaisuuksien hyvä hallinta onkin tärkeä edellytys mittauksille. Mittauksien, sekä niistä saatujen tuloksien analysoinnin kannalta olisi parasta mikäli kaikki mittauksissa käytettävät mittarit olisivat samanlaisia. Tämä vaatii kuitenkin laajempien mittauksien yhteydessä merkittäviä resursseja.

Lyhyellä näytteenottojaksolla analysaattoreiden muisti täyttyy muutamassa tunnissa ja sen vuoksi Dranetz ja Fluke -analysaattoreiden keräämä data täytyi siirtää tietokoneelle muutaman kerran päivässä, jotta uusia mittauksia voitiin suorittaa. Varsinkin Fluke-analysaattoreiden osalta suurempien tiedostojen siirtoon kului analysaattorin ja tietokoneen välillä olleesta hitaasta väylänopeudesta johtuen jopa 45 minuuttia. Mittauksien aikataulua suunniteltaessa tämä on huomioitava, jotta datan siirtoon varataan riittävästi aikaa. Usealla analysaattorilla samanaikaisesti suoritettavat mittaukset vaativat tarkkaa aikataulua ja analysaattoreiden kellojen synkronoimista. Ennakkosuunnittelu ja -valmistelut ovat tärkeitä mittauksien aikataulussa pysymisen kannalta.

5.6. Jatkotutkimuskohteita

Tämän työn mittaukset antavat yleisötapahtumien kuormituksesta suuntaa antavan kuvan, ja niiden perusteella voidaan arvioida esitystekniikan sähköverkkoon aiheuttamia häiriöitä ja niiden suuruutta yleisellä tasolla. Referenssimittauksien avulla valotekniikan aiheuttamaa kuormaa voitiin tutkia hieman yksityiskohtaisemmalla tasolla. Tuloksia tutkittaessa täytyy kuitenkin muistaa, että kyseessä on vain pieni otos esitystekniikan käyttämistä laitteista ja olosuhteista. Tuloksiin parantavasti vaikutti varmasti mitattua verkkoa syöttäneen verkon sähkötekniisesti oikeaoppinen ja riittävän suuri rakenne.

Jatkotutkimuksena esitystekniikan aiheuttamia sähköisiä häiriöitä kannattaisi tutkia tarkemmin laitekohtaisella tasolla, esimerkiksi yksittäisen himmentimen tai audiovahvistimen syöttöä mittaamalla. Tämänkaltaisten tuloksien pohjalta voitaisiin tarkemmin paneutua laitteiden rakenteeseen ja mahdolliseen laitekohtaiseen häiriöiden kompensointiin.

Näissä mittauksissa esitystekniikkaa syötettiin muuntamon kiskostolta. Mielenkiintoisena lisätutkimuskohteena olisi samankaltaisen, esitystekniikasta muodostuvan kuorman mittaaminen generaattoreiden syöttämässä pienjänniteverkossa. Olisi hyödyllistä tietää, miten verkon kuormitustilanteessa esiintyvät ilmiöt muuttuvat generaattorisyöttöisessä verkossa, ja miten generaattorin automatiikka ehtii säätää jännitettä nopeasti muuttuvassa kuormituksessa.

Esitystekniikan kiinteiden asennuksien, esimerkiksi teattereiden osalta, mielenkiintoisena tutkimuskohteena olisi sähkönlaadun hallintaan tarkoitettujen laitteiden soveltuminen tällaiselle kuormalle. Voisiko varsinkin ääni- ja kuvatekniikan signaaleissa esiintyvien häiriöiden määrää vähentää tämänkaltaisella tekniikalla?

6. YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli tutkia väliaikaisia pienjänniteverkkoja, joita käytetään erilaisten esityksien ja yleisötapahotumien sähköistämiseen. Työssä tutkittiin verkon rakennetta ja verkkoa kuormittavien laitteiden vaikutusta sähkön laatuun. Saatujen tietojen toivottiin hyödyttävän väliaikaisten pienjänniteverkkojen tehokkaampaa suunnittelua.

Väliaikaisia pienjänniteverkkoja käsittelevää kirjallisuutta oli tarjolla hyvin niukasti. Aihetta käsitellään lyhyesti sähköstandardeissa, ja väliaikaisen verkon rakenteesta on annettu muutamia suosituksia. Tässä työssä verkon rakennetta koskevia kysymyksiä on käsitelty kirjallisen materiaalin lisäksi alan asiantuntijoiden kanssa käytyjen keskusteluiden pohjalta, jotka olivatkin ensisijaisen tärkeitä sekä teoria- että tutkimusosuuden kannalta.

Työtä koskevat mittaukset toteutettiin heinäkuussa 2009 järjestetyn Ruisrock-festivaalin kahta esiintymislavaa syöttäneessä pienjänniteverkossa. Näiden mittaustulosten analysoinnin tueksi suoritettiin joulukuussa 2009 referenssimittaus. Kaikki mittaukset suoritettiin väliaikaiseen pienjänniteverkkoon liitettyjen sähköverkon pienjännitepuolen sähkönlaadun ja häiriöiden mittaamiseen tarkoitettujen analysaattoreiden avulla. Sähkönlaatumittauksissa saatuja tuloksia analysoitiin käyttäen apuna analysaattorivalmistajien tarjoamia tietokoneohjelmistoja.

Mittauksissa saatujen tuloksien perusteella voidaan muodostaa yleisellä tasolla käsitys esitystekniikan eri osa-alueiden tehontarpeista ja niiden aiheuttamista häiriöistä. Saadut mittaustulokset vastasivat melko hyvin esitystekniikan laitteiden, niiden rakenteen ja käytön perusteella luotuja ennako-odotuksia kuorman määrästä. Saatujen tuloksien pohjalta voidaan todeta, ettei mikään jännitteen arvoista ylittänyt kansallisessa SFS-EN 50160 standardissa esitettyjä jännitteen laatuun liittyviä arvoja. Harmonisten virtojen mahdollisesti verkkoon aiheuttavia ongelmia on kuitenkin syytä huomioida ja mitata, vaikka sitä ei vielä standarditasolla vaaditakaan.

Esityksien väliaikaisen pienjänniteverkon rakenteesta ja komponenteista voidaan mittaustuloksien sekä teorian pohjalta suositella muutamia rakenteellisia toimintatapoja. Jotta verkosta saadaan turvallinen, hyvin kuorman aiheuttamia häiriöitä kestävä ja kenties niitä vähentävä, tulisi väliaikaisen pienjänniteverkon suunnittelussa huomioida seuraavia asioita: Korkeiden, jopa vaihevirtojen suuruiseksi nousevien nollavirtojen vuoksi tulee käyttää TN-S -järjestelmää, jossa kaikkien viiden johtimen pinta-alat ovat yhtä suuret. Verkon suunnittelussa tulee varautua nopeisiin, vaiheiden välillä epätasaisiin kulutuksiin myös verkon tehonlähteen suhteen. Näin vältetään esityksen ulkopuolisten sähkön käyttäjien sähkönlaadun häiriintyminen. Verkon suojaukseen

käytettävien komponenttien, esimerkiksi vikavirtasuojien suhteen on kiinnitettävä huomiota niiden asetteluiden oikeellisuuteen ja kiinteätä verkkoa suurempaan määrään verkon selektiivisyyden varmistamiseksi Näin järjestelmään pääsevän kosteuden ja laitevikojen aiheuttamien suojalaitteiden havahtuminen ei aiheuta sähkökatkoa suurelle alueelle ja viallisen komponentin löytäminen helpottuu.

Kokonaisuutena mittaukset sujuivat ongelmitta. Kaikkia ongelmia ei voitu teoreettisen pohjatiedon vähäisyyden vuoksi välttää, mutta mittaustulokset olivat halutun kaltaisia. Mittauksiin osallistuneet yhteistyötahot tarjosivat mittauksiin tarvittavan kaluston ja mahdollistivat mittausten onnistumisen omalla ammattitaidollaan.

Saadut tulokset tarjoavat tietoa, jonka pohjalta voidaan varautua spesifisti esitystekniikasta johtuviin väliaikaisen pienjänniteverkon kuormitustilanteisiin. Verkossa tapahtuvien häiriöiden ja rakenteellisten ongelmakohtien vähentäminen voisi edesauttaa tulevaisuudessa toteutettavien yleisötapahtumien turvallisessa ja toimivassa sähköistämisessä. Työstä saatuja tuloksia voidaan käyttää apuna myös kiinteiden esitystekniikkaa sisältävien sähköjärjestelmien suunnittelussa, esimerkiksi teattereiden ja konserttisalien tapauksissa. Generaattoreilla syötetyn väliaikaisen pienjänniteverkon ja esitystekniikan yksittäisien komponenttien osalta olisi tarpeen tehdä lisää tutkimusta, jotta niiden käyttäytymistä osana sähköverkkoa ja sähkönlaatua voitaisiin selvittää lisää.

LÄHTEET

- [1] Erkki, Lakervi & Jarmo, Partanen. Sähkönjakelutekniikka. 2007. Helsinki, Gaudeamus Helsinki University Press / Otatieto. 104 s.
- [2] SÄHKÖALAN SÄÄNNÖKSET 2008. Helsinki, Henkilö- ja Yritysarviointi Seti Oy. 9 - 22 s.
- [3] SÄHKÖALAN SÄÄNNÖKSET 2008. Helsinki, Henkilö- ja Yritysarviointi Seti Oy. 10 s.
- [4] SFS – Käsikirja 600. 2007. Pienjännitesähkösennukset ja sähkötyöturvallisuus. 1.painos. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto. 14 – 21 s.
- [5] SFS – Käsikirja 600. 2007. Pienjännitesähkösennukset ja sähkötyöturvallisuus. 1.painos, Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 121 s.
- [6] ST – kortisto 52.40 Pienjännitteisen siirrettävän moottorigeneraattorin liittäminen sähkölaitteistoon. Laadittu 2003-10-15. Espoo. Sähköinfo Oy 4- 9s.
- [7] SFS – Käsikirja 600. 2007. Pienjännitesähkösennukset ja sähkötyöturvallisuus (SFS 6000-7-711). 1.painos, Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 474 – 478s.
- [8] ST - kortisto 51.34 Tilapäiset sähkösennukset näyttely- ja esitystiloissa 2009. Espoo, Sähköinfo Oy 1 – 3s.
- [9] SFS – Käsikirja 600. 2007. Pienjännitesähkösennukset ja sähkötyöturvallisuus (SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus). 1.painos, Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 588 s.
- [10] [10] Turvatekniikan keskus, 2010. Toimialat [WWW] [Viitattu 28.4.2001]. Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/>
- [11] Sähköammattilaisen turvallisuusopas, 2008. Espoo, Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 30 – 37 s.
- [12] SÄHKÖALAN SÄÄNNÖKSET 2008 (KTMp Sähköalan töistä 516/96). Helsinki, Henkilö- ja Yritysarviointi Seti Oy. 24 – 30 s.
- [13] SFS-EN 60900 Jännitetyökalut. Käsityökalut jännitetöihin enintään 1000 V ac tai 1500 V dc jännitteillä. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry
- [14] Pertti A. Mäkinen, 2009. SFS 6002 Käytännössä. 6.painos. Espoo, Sähkö- ja teleurakoitsijoiden liitto STUL ry. 57 – 62 s.
- [15] D1-2002. Käsikirja rakennusten sähkösennuksista. Suomen Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry. 28 – 29 s.
- [16] Turvallisuusohje sähkönlaadun mittauksiin. 2006. Sähköenergialiitto ry.
- [17] SFS-EN 50160. Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet. 2007. 3.painos. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 - 34s.
- [18] Kennedy, Barry W. Power Quality Primer. 2000. McGraw – Hill.
- [19] ABB Oy, 2010. [WWW] [Viitattu 20.3.2010] Saatavissa: [http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/\\$file/040_0007.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/$file/040_0007.pdf)
- [20] Jakeluverkon sähkön laadun arviointi, 2001. Sähköenergialiitto ry

- [21] Turku Energia, 2010. Sähköenergiateollisuus Ry:n suosittelemat Verkkopalveluehdot VPE05 [WWW] [Viitattu 7.5.2010] Saatavissa: <https://www.turkuenergia.fi/muuttoilmoitus/Verkkopalveluehdot.pdf>
- [22] SFS – Käsikirja 600. 2007. Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus (SFS 6000-5-551 Pienjännitteiset generaattorilaitteistot) 1.painos, Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 339 – 343 s.
- [23] SFS – Käsikirja 600. 2007. Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus (SFS 6000 TN -järjestelmät) 1.painos, Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 101 – 112 s.
- [24] SFS – Käsikirja 600. 2007. Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus (SFS 6000-5-52 Johtojärjestelmät) 1.painos, Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 243 – 254 s.
- [25] SFS – Käsikirja 600. 2007. Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus (SFS 6000-8-813 Jatkojohdot) 1.painos, Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 581 s.
- [26] SFS – Käsikirja 600. 2007. Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus (SFS 6000-5-52 Johtimien poikkipinta) 1.painos, Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 257 s.
- [27] Valmistajan kotisivut. Liittimien ominaisuudet. [WWW] [Viitattu 1.4.2010]. Saatavissa: <http://www.ittcannon.com/product.aspx?id=1842>
- [28] SFS – Käsikirja 154, Jakokeskukset. 2.uudistettu painos. 2005. Suomen Standardisoimisliitto 267 – 288 s.
- [29] SFS – Käsikirja 154 Jakokeskukset 1.painos. Joulukuu 2002, SFS-EN 60439-4 + A1 + A2, OSA 4: Työmaakeskusten erityisvaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto
- [30] SFS-EN 60439-4+A1+A2, Suomen Standardisoimisliitto 23-25 s.
- [31] SFS - Käsikirja 600. 2007. Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus (SFS 6000-4 Suojausmenetelmät) 1.painos, Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 121 s.
- [32] SFS - Käsikirja 606. 2008. Sähköasennusten ja sähkölaitteiden turvallisuuteen liittyvät peruskäsitteet. 1.painos. Helsinki. 202 – 210 s.
- [33] SFS - Käsikirja 600. 2007. Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus (SFS 6000-711.4 Suojausmenetelmät) 1.painos, Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 474 - 475 s.
- [34] SFS - Käsikirja 600. 2007. Pienjännitesähköasennukset ja sähkötyöturvallisuus (SFS 6000-43,473,551). 1.painos, Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto. 159 – 242 s.
- [35] Kennedy, Barry W. Power Quality Primer. 2000. McGraw – Hill. 34 s.
- [36] ST -kortisto 52.51.01 Johdinjärjestelmän vaikutus sähkön laatuun. 2006. Espoo. Sähköinfo Oy. 1 – 3 s.
- [37] ST –kortisto 52.51.02 Jännitteen aleneman minimoiminen. 2006. Espoo. Sähköinfo Oy. 1 – 2 s.

- [38] ST –kortisto 52.51.03 Harmoniset yliaallot. 2006. Espoo. Sähköinfo Oy. 1 – 3 s.
- [39] ST –kortisto 52.15 Loistehon kompensointi pienjänniteverkossa. 2004. Espoo. Sähköinfo Oy. 1 – 4 s.
- [40] ST -kortisto 52.51.04 Vinokuormitus, nollajohdin ja transienttiylijännitteet. 2006. Espoo. Sähköinfo Oy. 1 – 2 s.
- [41] Alanen, Raili & Hätönen, Hannu, Sähkön laadun ja jakelun luotettavuuden hallinta. VTT 2006, 43 s.

LIITE 1: KAUPPA- JA TEOLLISUUSMINISTERIÖN PÄÄTÖS 1193/1999

Annettu Helsingissä 17 päivänä joulukuuta 1999

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös
sähkölaitteistojen turvallisuudesta

Kauppa- ja teollisuusministeriö on päättänyt 14 päivänä kesäkuuta 1996 annetun sähköturvallisuuslain (410/1996) 6 §:n nojalla:

1 §

Soveltamisala

Tämä päätös koskee sähköturvallisuuslain (410/1996) 4 §:ssä tarkoitettujen sähkölaitteistojen rakenteellista ja toiminnallista turvallisuutta.

Tätä päätöstä ei sovelleta televerkkojen, hissien, ilma-alusten eikä maa- ja vesikulkuneuvojen sähkölaitteistoihin.

2 §

Turvallisuusvaatimukset

Sähkölaitteistot on suunniteltava, rakennettava ja korjattava hyvän turvallisuusteknisen käytännön mukaisesti ottaen huomioon sähköturvallisuuslain 5 §:n 1 kohdan vaatimus turvallisuuden tasosta. Lisäksi sähkölaitteistojen on täytettävä tämän päätöksen liitteessä luetellut olennaiset turvallisuusvaatimukset ottaen huomioon Suomessa vallitsevat olosuhteet ja noudatettavat asennustavat.

3 §

Turvallisuusvaatimusten toteuttaminen

Sähkölaitteistojen katsotaan täyttävän tämän päätöksen liitteessä luetellut olennaiset turvallisuusvaatimukset, jos ne suunnitellaan, rakennetaan ja korjataan soveltaen standardeja tai julkaisuja, joiden vastaavuus olennaisiin vaatimuksiin on vahvistettu 4 §:n mukaisesti.

Olennaisten turvallisuusvaatimusten täytyminen on tarvittaessa 1 momentista poiketen mahdollista osoittaa noudattaen, mitä 5 §:ssä säädetään.

4 §

Sovellettavat standardit

Tässä päätöksessä standardeilla tarkoitetaan virallisen standardointielimen vahvistamia teknisiä eritelmiä, jotka ovat julkisesti saatavilla.

Sähköturvallisuusviranomainen vahvistaa olennaisia turvallisuusvaatimuksia vastaavien standardien luettelon sähköturvallisuuden neuvottelukunnan lausunnon perusteella ja pitää luetteloa saatavilla.

Jos standardeja ei tiettyjen turvallisuusvaatimusten tai sähkölaitteistojen osalta ole laadittu, voidaan soveltaa standardeihin verrattavia julkaisuja, joiden vastaavuus olennaisiin turvallisuusvaatimuksiin on vahvistettu 2 momentin mukaisesti.

Sähköturvallisuusviranomaisen tulee poistaa vahvistamastaan luettelosta viittaus standardiin tai julkaisuun taikka sen osaan, jos sen soveltamisesta aiheutuu olennaista vaaraa, sekä päivittää olennaisia turvallisuusvaatimuksia vastaavien standardien luettelo 2 momentin mukaisesti.

5 §

Standardeista poikkeaminen

Olennaisten turvallisuusvaatimusten täyttymisestä on laadittava kirjallinen selvitys, ennen kuin sähkölaitteiston rakentaminen ja korjaaminen aloitetaan, jos olennaisia turvallisuusvaatimuksia vastaavista standardeista tai julkaisuista poiketaan.

Selvityksessä tulee esittää siltä osin kuin olennaisia turvallisuusvaatimuksia vastaavista standardeista tai julkaisuista poiketaan:

- 1) olennaisten turvallisuusvaatimusten täyttämiseksi valitut ratkaisut;
- 2) kuvaus siitä, miten ratkaisut täyttävät olennaiset turvallisuusvaatimukset;
- 3) tilaajan antama suostumus standardeista tai julkaisuista poikkeamiseen; sekä
- 4) selvityksen laatijan yksilöinti ja allekirjoitus.

Selvitystä voi täydentää sähköturvallisuuslain 23 §:ssä tarkoitetun sähkölaitteiston tarkastukseen valtuutetun laitoksen tai tarkastajan lausunnolla siitä, täyttääkö sähkölaitteisto olennaiset turvallisuusvaatimukset.

Selvitys on liitettävä sähkölaitteiston käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan.

6 §

Käyttöolosuhteiden muuttuminen

Sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava, että käyttöolosuhteiden muuttuessa ryhdytään tarvittaviin toimenpiteisiin, joilla voidaan varmistaa sähkölaitteistojen turvallisuus muuttuneissa olosuhteissa.

7 §

Sähkölaitteistojen kytkeminen yhteen

Sähkölaitteistot saa kytkeä yhteen vain, jos toimenpiteestä ei aiheudu sähköturvallisuuslain 5 §:ssä tarkoitettua varaa. Tämän varmistamiseksi yhteen kytkettävien sähkölaitteistojen haltijoiden on annettava toisilleen riittävät sähkölaitteistonsa rakennetta koskevat tekniset tiedot.

8 §

Voimaantulo

Tämä päätös tulee voimaan 2 päivänä tammikuuta 2000.

Tällä päätöksellä kumotaan:

- 1) sähköturvallisuusmääräyksistä 28 päivänä helmikuuta 1974 annettu kauppa- ja teollisuusministeriön päätös (205/1974) siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen;
- 2) sähköasennusten turvallisuudesta 28 päivänä joulukuuta 1994 annettu kauppa- ja teollisuusministeriön päätös (1396/1994) siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen; sekä
- 3) sähköturvallisuuslain soveltamisesta 28 päivänä elokuuta 1996 annettu kauppa- ja teollisuusministeriön päätös (657/1996).

9 §

Siirtymäsäännökset

Ennen tämän päätöksen voimaantuloa rakennettuja sähkölaitteistoja ei tarvitse muuttaa tämän päätöksen mukaisiksi, jos niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa.

Sähköasennusten turvallisuudesta annetun kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen 7 §:ssä mainittu julkaisu sekä sähköturvallisuuslain soveltamisesta annetun kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen 1 §:n 1, 2, 4, 5 ja 7—10 kohdassa mainitut julkaisut rinnastetaan 31 päivään joulukuuta 2002 standardeihin, jotka vastaavat olennaisia turvallisuusvaatimuksia.

Säädös on ilmoitettu Euroopan yhteisöjen komissiolle Euroopan parlamentin neuvoston direktiivin 98/34/EY mukaisesti

Helsingissä 17 päivänä joulukuuta 1999

Kauppa- ja teollisuusministeri
Erkki Tuomioja

Ylitarkastaja
Pertti Lindberg

LIITE 2: KOTELOINTILUOKAT

IP luokka	Suojaus
2X	Kosketussuojainen (sormi)
3X	Kosketussuojainen (työkalu)
4X	Kosketussuojainen (lanka)
5X	Pölysuojainen
6X	Pölynpitävä
X0	Suojaamaton
X1	Tippuvanvedenpitävä
X3	Sateenpitävä
X4	Roiskevedenpitävä
X5	Suihkuavanvedenpitävä
X6	Suojattu aallokkoa vastaan
X7	Vedenpitävä yhden metrin syvyyteen asti

LIITE 3: MITTAUSSUUNNITELMA

Tutkimussuunnitelma Ruisrock 2009

- Niittylavan puistomuuntamon syöttämän verkon sähkönlaatu

Mittausten ja niistä saadusta materiaalista koostettavan diplomityön osapuolet:

Festivaalisähkö Oy
Mäkitie 37, 013900 Vantaa
Jouko Riihimaa,
puh. 0400-711769,
jouko.riihimaa@festivaalisahko.fi

Turku Energia Sähköverkot Oy
PL 105 (Linnankatu 65) 20101 Turku
Harri Salminen,
puh. 050-5573162,
harri.salminen@turkuenergia.fi

Tampereen Teknillinen Yliopisto
Sähköenergiatekniikan laitos
PL 692, 33101 Tampere
Opiskelija, Tuomas Kotovuori,
puh. 044-7822229,
tuomas.kotovuori@tut.fi

Työkohde: Niittylavan puistomuuntamo, Ruissalon kansanpuisto, Turku
Mittausten ajankohta: 26.6 – 5.7.2009
Sähköurakoitsija: Festivaalisähkö Oy
Jakeluverkon haltija: Turku Energia Sähköverkot Oy
Sähkötöistä ja sähköturvallisuudesta Festivaalisähkö Oy:n puolesta vastaa:
Jouko Riihimaa

Turvallisuus: Mittauksissa noudatetaan standardissa SF 6002 määriteltyjä sähkötyöturvallisuusmääräyksiä. Kaikki mittauksissa käytettävät mittarit täyttävät standardin EN 61010 vaatimukset. Sähkötöille ja mittauksille on nimetty turvallisuudesta vastaava henkilö. Mittaukset toteutetaan niin, ettei niistä aiheudu haittaa tai turvallisuusriskiä Turku Energia Sähköverkot Oy:n verkolle tai tapahtuman asiakkaille.

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, millaisia häiriöitä aiheutuu pienjänniteverkkoon, kun sitä kuormittavat väliaikaistapahtumille ja festivaaleille tyypilliset, nopeasti ja epätasaisesti muuttuvat kuormat, joita muun muassa valaistus-, ääni- ja kuvatekniikka aiheuttavat. Mittausten avulla havainnoidaan käytännössä, millaisia ongelmia tällainen kuorma aiheuttaa pienjänniteverkossa, ja miten ne näkyvät sähkönlaadussa. Mittaustulosten ja niiden teoreettisen käsittelyn pohjalta saadaan materiaalia, joka auttaa ennakoimaan tällaisten kuormien vaikutuksia verkolle ja suunnittelemaan tilanteeseen sopiva pienjänniteverkkoratkaisu.

Mittausten alustava aikataulu:

- Pääkeskukselta lähtevien maakaapeleiden esiin kaivaminen, eristysvastusmittaus ja sähkökeskusten asentaminen 26 – 28.6.2009.
- Mittareiden asentaminen sähkökeskuksiin ja niiden testaaminen 29.6 – 1.7.2009.
- Varsinaiset mittaukset Ruisrock-tapahtuman aikana 3 – 5.7.2009.
- Mittausdatan siirtäminen PC:lle 6 – 7.7.2009.
- Mittaustulosten ja niitä koskevan teorian työstäminen diplomityöksi helmikuuhun 2010 mennessä

Valo-, ääni- ja kuvatekniikan käyttämät laitteet sisältävät paljon epälineaarista kuormaa, mm. äänivahvistimissa yleistyneet hakkuripäätteet, led-screenien teholähteet ja liikkuvien valonheittimien purkauspolttimot. Nämä komponentit muodostavat verkkoon yliaaltoja ja yliaaltojännitteitä. Show-valaistuksessa käytettävien konventionaalisten valonheittimien himmentimet sisältävät muuntajia ja myös uudemmissa malleissa tyristoriohjatut kuormat ovat yleistyneet. Nämä ja strobo-valaisimien sisältämät tehokondensaattorit, sekä liikkuvien valojen sisältämät pienitehoiset askelmoottorit ja purkauspolttimot kuluttavat loistehoa, jota ei laitetasolla kompensoida millään tavalla. Suuren festivaalilavan valaistuskalustossa näitä lampputyyppejä on useista kymmenistä jopa satoihin. Näin ollen loistehon tarvekin on huomattava.

Niittylavan puistomuuntamon syöttämä pienjänniteverkko kattaa kahden esiintymislavan valo- ja äänitekniikan, screen-tekniikkaa, television kuvauskalustoa sekä ruokamyymien kalustoa. Näiden kuormien yhteisvaikutusta verkolle ja sen eri pisteille on hyvin vaikea ennustaa. Ongelmia lisäävät kuorman nopeat tilannekohtaiset vaihtelut, esimerkiksi valotilanteiden nopeiden vaihdosten seurauksena. Tämän vuoksi mittalaitteiston asetteluiden tulee olla sellaiset, että nopeatkin vaihtelut saadaan tallennettua ja niitä pystytään analysoimaan jälkeenpäin niin, etteivät huippuarvot katoa keskiarvoistamisen myötä. Mittareiden aika-arvojen ja havahtumisarvojen tulee olla kuitenkin sellaiset, että mittareiden muistikapasiteetti riittää kolmipäiväisen mittausjakson ajan.

Yliaaltojen ja loistehon kulutuksen muodostamat haasteet pienjänniteverkolle tulee huomioida pienjänniteverkkoa syöttävää muuntajaa tai generaattoria valitessa ja sen

kuormitettavuutta laskettaessa. Yliaaltovirrat ja yliaaltojännitteet lisäävät kupari- ja rautahäviöitä ja näin ollen vaikuttavat myös kokoluokan valintaan esimerkiksi lämpenemisen kautta. Yliaallot aiheuttavat myös verkon kaapeleissa ja johtimissa lämpenemistä ja nelijohdinjärjestelmissä mahdollisen 150Hz:n, eli kolmannen harmonisen yliaaltovirran magneettikentän. Myös käytölle tyypillinen epätasainen kuorma ja yliaaltovirrat kuormittavat järjestelmän nollajohtimia luoden niihin huomattaviakin nollajohtimen virtoja. Tämä ei luultavasti aiheuta keskijänniteverkossa suuria ongelmia. Muuntamokohtaisesti se voi kuitenkin näkyä suurestikin muuntajan liian suurena kuormituksena, joka voi aiheuttaa sen käyttöiän lyhenemisen. Myös muuntamoja syöttävä kaapelointi ja sen syöttämä pienjänniteverkko voivat rasittaa arvioitua enemmän.

Kuorman laadun ja sen ominaisuudet huomioiden on ensisijaisesti tarkoitus mitata seuraavanlaisia suureita:

- Jännite-, virtavaihtelut käyrämuodossa
- Jännitesärön ja virtasärön vaihtelut
- Nollajohtimen virta
- Yliaaltojen vaihtelut 40:teen asti
- Tehokertoimen vaihtelut
- Välkyntä
- Tehovaihtelut

Mittaustapahtuma: Neljä, koko mittausten ajan kiinteästi samassa pisteessä mittaavaa Turku Energia Sähköverkot Oy:n WIMO -mittaria kytketään verkkokuvassa näkyvien 630A ja 400 A El-Björn -jakokeskuksien päädyissä oleviin mittaritiloihin. Kytkennässä voidaan hyödyntää keskuksissa asennettuina olevia mittausjohdotuksia ja virtamuuntajia. WIMO -mittareiden sijoituspaikat näkyvät tarkemmin verkkokuvasta.

Mittarit kytketään niin, että mittaukseen tulevat vaihejännitteet ja -virrat sekä nollajohtimen virta. Lisäksi kiinteiden mittausten rinnalla syytä tehdä vertailumittauksia eri mittapisteissä 3-vaiheisilla: Fluke-analysaattoreilla ja Dranetz-analysaattorilla. Mittauksissa tarvittava mittauskalusto löytyy Turku Energia Sähköverkot Oy:ltä. Mitattavia pisteitä/kuormia ovat esimerkiksi suuret valohimmentimet, led-screenit yms.

Liikuteltavalla analysaattorilla on syytä suorittaa vertailumittaus myös jollain Niittylavan puistomuuntamon pienjänniteverkon ulkopuolisen esiintymislavan jakokeskuksessa, esimerkiksi yhden esiintyjän, tai jos muistikapasiteetti riittää niin yhden päivän ajan. Näin saadaan vertailtavissa olevaa mittausdataa WIMO -mittareilla suoritettujen mittausten tueksi.

Liikuteltavan kaluston mittauksissa tulisi käyttää niin lyhyttä mittausjakson aika-arvoa, kuin analysaattoreihin on mahdollista asettaa. Näin varmistetaan, että myös verkon

arvojen nopeimmista muutoksista saadaan mittausdataa ja näihin muutoksiin sekä niiden aiheuttajiin voidaan kiinnittää mittausdataa analysoidessa huomiota. Jos tallennetaan esim. yhden minuutin arvoja, on mahdollista, että nopeimmat muutokset katoavat analysaattoreiden aika-arvojen keskiarvottamisen myötä. Koska siirrettäville analysaattoreille kertyneet tiedot voidaan siirtää ja tallentaa PC:lle jokaisen mittauksen jälkeen, ei niiden muistikapasiteetti ja sen täyttyminen aiheuta ongelmia.

Oulussa 27.5.2009

Tuomas Kotovuori

LIITE 4: MITTAUKSET 2009

Mittaukset 2009

Referenssi mittaukset Hartwall Areena

		Fluke			
4.12.2009 klo:20.53 – 22.42	BackstreetBoys	Nimi: 2 Aika väli: 5s			

Ruisrock Mittaukset 2009

WIMO mittaukset

WIMO mittarit mittasivat koko tapahtuman ajan alkaen 2.7.2009 – 6.7.2009

	NIITTY Ääni	NIITTY Valo	TELTTA	KANSANPUISTONTIE
2.7- 6.7.200 9	Niittylava 400A	Niittylava 630A	Telttä 400A	1098 Kansanpuistontie

Fluke ja Dranetz mittaukset

Seuraavissa taulukoissa on merkittynä Niitty- ja Telttalavoilla suoritettut mittaukset, niiden kesto, mittaustulosten keskiarvoistusaika ja nimi jolla mittaus on tallennettu.

PERJANTAI

3.7.2009

(Portit aukeaa klo 16.00 ja alue sulkeutuu klo 02.00)

	NIITTY esiintyjät	TELTTA esiintyjät	NIITTY Ääni Dranetz	NIITTY Valo Fluke 1	TELTTA Fluke2
17:00- 18:00		Pilgrimz (DEN)			
17:15- 18:15			Nimi: KOEE	Nimi: Niitty(5s) perjantai	Nimi: Telтта(5s) perjantai
18:15- 19:15	Stone		Keskiarvo:5 s	Keskiarvo:5 s	Keskiarvo: 5 s
18:30- 19:30			Aika: 17.53- 18.42	Aika: 17.41- 19.39	Aika: 16.58- 20.53
19:30- 20:30		Mokoma			
19:45- 20:45					
20:45- 22:00	Children Of Bodom				
21:00- 22:00					
22:15- 23:30					Nimi: Telтта(1s) perjantai Keskiarvo: 1 s
22:15- 23:45		Neurosis (USA)			Aika: 22.03- 23.58
23:45- 00:45			Nimi: AANI I Keskiarvo:5 s	Nimi: Niitty(1s) perjantai Keskiarvo:1 s	
00:00- 01:30	Slipknot (USA)		Aika: 23.55- 00.53	Aika: 23.57- 01.28	

LAUANTAI**4.7.2009**

(Portit aukeaa klo 12.00 ja alue sulkeutuu 02.00)

	NIITTY esiintyjät	TELTTA esiintyjät	NIITTY Ääni Dranetz	NIITTY Valo Fluke 1	TELTTA Fluke2
14:30- 15:30		Asa ja Jätkäjätkät			
15:45- 16:45	Maija Vilkkumaa		Nimi:AANI II Keskiarvo: 5s	Nimi: Niitty(5s) lauantai	Nimi: Telтта(5s) lauantai
17:00- 18:00		Don Johnson Big Band	Aika: 15.39- 17.14	Keskiarvo: 5 s	Keskiarvo: 5 s
17:00- 18:15				Aika: 15.41- 22.25	Aika: 14.24- 21.18
18:15- 19:15	DISCO ENSEMBLE				
18:30- 19:30					
19:45- 20:45		Ladytron (UK)			
19:45- 21:00					
21:00- 22:15	In Flames (SWE)				
22:30- 23:45					
22:45- 23:45		The Living End (AUS)			Nimi: Telтта(1s) lauantai Keskiarvo: 1 s
00:00- 01:00			Nimi:AANI III Keskiarvo: 5s	Nimi: Niitty(1s) lauantai Keskiarvo: 1 s	Aika: 22.47- 00.06
00:00- 01:15	Mew (DEN)		Aika: 23.36- 17.09	Aika: 00.01- 01.56	

SUNNUNTAI**5.7.2009**

(Portit aukeaa klo 12.00 ja alue sulkeutuu klo 00.00)

	NIITTY esiintyjät	TELTTA esiintyjät	NIITTY Ääni Dranetz	NIITTY Valo Fluke 1	TELTTA Fluke2
12:45- 13:45			Nimi:AANI III Keskiarvo: 5s		
13:00- 14:00		Risto	Aika: 23.36- 17.09		
14:15- 15:15	Stratovarius				
15:00- 16:00					
15:30- 16:30		Soul Captain Band			
16:30- 17:30				Nimi: Niitty(5s) sunnuntai	Nimi: Teltt(5s) sunnuntai
16:45- 17:45	Apulanta			Keskiarvo: 5 s	Keskiarvo: 5 s
17:45- 18:45				Aika: 16.36- 19.55	Aika: 15.23- 19.08
18:00- 19:00		Calexico (USA)			
19:00- 20:00					
19:15- 20:15	Gogol Bordello (USA)				
20:30- 21:30		!!! (USA)			Nimi: Teltt(1s) sunnuntai
21:45- 23:15	Faith No More (USA)		Nimi:AANI IV Keskiarvo: 5s	Nimi: Niitty(1s) sunnuntai Keskiarvo: 1 s	Keskiarvo: 1 s Aika: 20.49- 21.42
			Aika: 21.56- 21.38	Aika: 21.55- 23.50	